

10/525028

PATENT
450100-05122

1 DT05 11/PTO 22 FEB 2005

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: Mitsuharu OHKI
International Application No.: PCT/JP2004/007790
International Filing Date: May 28, 2004
For: METHOD, APPARATUS, AND PROGRAM FOR
PROCESSING AN IMAGE

745 Fifth Avenue
New York, NY 10151

EXPRESS MAIL

Mailing Label Number: EV375019595US

Date of Deposit: February 22, 2005

I hereby certify that this paper or fee is being deposited with the United States Postal Service "Express Mail Post Office to Addressee" Service under 37 CFR 1.10 on the date indicated above and is addressed to Mail Stop PCT, Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

Charles Jackson
(Typed or printed name of person mailing paper or fee)

Charles Jackson
(Signature of person mailing paper or fee)

CLAIM OF PRIORITY UNDER 37 C.F.R. § 1.78(a)(2)

Mail Stop PCT
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Pursuant to 35 U.S.C. 119, this application is entitled to a claim of priority to Japan
Application No. 2003-178404 filed 23 June 2003.

Respectfully submitted,

FROMMER LAWRENCE & HAUG LLP
Attorneys for Applicant

By: William S. Frommer
William S. Frommer
Reg. No. 25,506
Tel. (212) 588-0800

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

28.05.2004

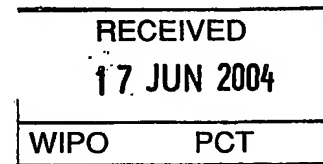
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2003年 6月23日

出 願 番 号
Application Number: 特願2003-178404
[ST. 10/C]: [JP2003-178404]

出 願 人
Applicant(s): ソニー株式会社

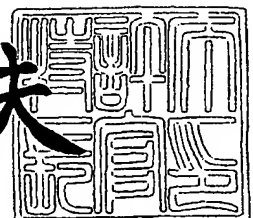


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 2月26日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 0390412603

【提出日】 平成15年 6月23日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04N 5/235
H04N 5/91

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都品川区東五反田1丁目14番10号 株式会社ソニー木原研究所内

 【氏名】 大木 光晴

【特許出願人】

 【識別番号】 000002185

 【氏名又は名称】 ソニー株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100082131

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 稲本 義雄

 【電話番号】 03-3369-6479

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 032089

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9708842

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 画像処理方法および装置、並びにプログラム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の入力画像から出力画像を推定する画像処理方法において、

1 画素につき所定の n 個の画素値を有する画像を撮像する撮像手段が撮像した前記複数の入力画像どうしの位置関係を検出する検出ステップと、

前記検出ステップの処理により検出された前記位置関係に基づき、前記出力画像の画素位置毎に前記複数の入力画像から考慮すべき観測画素成分を特定し、該特定された観測画素成分に基づき、1 画素につき $(n+1)$ 個以上の画素値を有する前記出力画像を推定する画像推定ステップと

を含むことを特徴とする画像処理方法。

【請求項 2】 前記画像推定ステップは、前記検出ステップの処理により検出された前記位置関係に基づき、前記出力画像の画素位置毎に前記複数の入力画像から考慮すべき観測画素値を選択し、該選択された観測画素値に基づき、1 画素につき $(n+1)$ 個以上の画素値を有する前記出力画像を推定する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理方法。

【請求項 3】 前記画像推定ステップは、前記検出ステップの処理により検出された前記位置関係に基づき、前記複数の入力画像から、1 画素につき $(n+1)$ 個以上の画素値を有する前記出力画像を推定する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理方法。

【請求項 4】 前記画像推定ステップでは、出力画像の各画素位置および／またはその周辺における色相関を考慮して、前記出力画像が推定される

ことを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理方法。

【請求項 5】 前記画像推定ステップでは、前記入力画像の画素の画素値がエッジの急峻度合いに応じた画素値に変更され、変更後の画素値に基づき、前記出力画像が推定される

ことを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理方法。

【請求項 6】 前記 n は 1 であり、

前記画像推定ステップは、前記検出ステップの処理により検出された前記位置関係に基づき、前記複数の入力画像から、1画素につき3個の画素値を有する前記出力画像を推定する

ことを特徴とする請求項1に記載の画像処理方法。

【請求項7】 前記撮像手段は、単板センサであり、観測される色信号が前記入力画像の位置に応じて変わる

ことを特徴とする請求項1に記載の画像処理方法。

【請求項8】 前記撮像手段は、前記複数の入力画像を、適正露出未満で撮像し、

前記複数の入力画像それぞれの画素値のゲインアップを行う露出補正ステップをさらに含む

ことを特徴とする請求項1に記載の画像処理方法。

【請求項9】 前記画像推定ステップは、

前記複数の入力画像それぞれの各画素に対して、前記検出ステップの処理により検出された前記位置関係に応じた前記各画素の補正位置を求め、

前記補正位置を中心とする所定の領域内の前記出力画像の光の積分値と、前記補正位置の画素の画素値との差が、所定の誤差の範囲内であるという光量積分条件式を生成する光量積分条件式生成ステップと、

前記光量積分条件式を演算する演算ステップと
を有する

ことを特徴とする請求項8に記載の画像処理方法。

【請求項10】 前記光量積分条件式を生成する際には、複数の入力画像のゲインアップが行われている場合に、前記所定の誤差の値を該ゲインアップの量に依存して変化させる

ことを特徴とする請求項9に記載の画像処理方法。

【請求項11】 前記画像推定ステップは、

前記複数の入力画像それぞれの各画素に対して、前記検出ステップの処理により検出された位置関係に応じた前記各画素の補正位置を求め、

前記補正位置が前記出力画像の各画素の位置の近傍にある前記入力画像の画素

の画素値と、前記ゲインアップの量に依存する誤差とを考慮して、前記出力画像を推定する

ことを特徴とする請求項 8 に記載の画像処理方法。

【請求項 12】 前記画像推定ステップは、

前記複数の入力画像それぞれの各画素に対して、前記検出ステップの処理により検出された位置関係に応じた前記各画素の補正位置を求め、

前記補正位置が前記出力画像の各画素の位置の近傍にある前記入力画像の画素の画素値と、該補正位置と該出力画像の画素の位置との距離と、を考慮して、前記出力画像を推定する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理方法。

【請求項 13】 前記画像推定ステップは、

前記複数の入力画像それぞれの各画素に対して、前記検出ステップの処理により検出された位置関係に応じた前記各画素の補正位置を求め、

前記補正位置が前記出力画像の各画素の位置の近傍にある前記入力画像の画素の画素値に基づいて、バネモデルにより、前記出力画像を推定する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理方法。

【請求項 14】 複数の入力画像から出力画像を推定する画像処理装置において、

1 画素につき所定の n 個の画素値を有する前記複数の入力画像を撮像する撮像手段と、

前記複数の入力画像どうしの位置関係を検出する検出手段と、

前記検出手段により検出された前記位置関係に基づき、前記出力画像の画素位置毎に前記複数の入力画像から考慮すべき観測画素成分を特定し、該特定された観測画素成分に基づき、1 画素につき $(n+1)$ 個以上の画素値を有する前記出力画像を推定する画像推定手段と

を備えることを特徴とする画像処理装置。

【請求項 15】 複数の入力画像から出力画像を推定する画像処理のプログラムにおいて、

1 画素につき所定の n 個の画素値を有する画像を撮像する撮像手段が撮像した

前記複数の入力画像どうしの位置関係を検出する検出ステップと、

前記検出ステップの処理により検出された前記位置関係に基づき、前記出力画像の画素位置毎に前記複数の入力画像から考慮すべき観測画素成分を特定し、該特定された観測画素成分に基づき、1画素につき $(n+1)$ 個以上の画素値を有する前記出力画像を推定する画像推定ステップと

を含む処理をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、画像処理方法および装置、並びにプログラムに関し、特に、例えば、単板センサを採用した撮像装置において、より鮮明な画像を得ることができるようにする画像処理方法および装置、並びにプログラムに関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、カメラとしてはデジタルカメラが一般的となっている。デジタルカメラにおいて、CCD(Charge Coupled Device)やCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)等の撮像素子により撮像された画像(以下、撮像画像と称する)は、デジタルカメラに設けられたLCD(Liquid Crystal Display)などのモニタに表示され、ユーザにより確認される。さらに、撮像画像の画像信号がデジタル化され、フラッシュメモリなどの記録媒体を介して、あるいは、ケーブル接続や赤外線通信などの有線または無線通信により、例えば、パーソナルコンピュータ(PC)などの画像処理装置に転送される。そして、転送先であるパーソナルコンピュータでは、デジタルカメラの撮像画像をCRT(Cathode Ray Tube)や液晶ディスプレイ(LCD)などのモニタに表示し、ユーザは撮像画像を確認したり、編集することができる。

【0003】

さて、デジタルカメラにおいて、例えば、日陰などの十分に太陽光線が当たらない場所や薄暗い部屋などで、十分な明るさが得られない被写体を撮像する場合、デジタルカメラでは、適正な露出を得るためにシャッタ速度を遅くする必要が

ある（シャッター時間が長くなる）。

【0004】

このようなシャッター時間の長い撮像では、デジタルカメラを三脚などに固定し、デジタルカメラがブレない（揺れない）ようにすればよい。しかしながら、例えば、デジタルカメラを手で持って撮像し、デジタルカメラがブレた場合（いわゆる、手ブレが発生した場合）、シャッターが開いている間（シャッター時間）のデジタルカメラのブレ（揺れ）により、撮像画像は、被写体がボケた画像となってしまふ。このボケた画像は、「手ブレ」した画像、または、「カメラブレ」した画像などと呼ばれる。

【0005】

シャッター速度を遅くする（シャッター時間を長くする）他に、十分な露出を得るための方法として、複数枚の撮像画像を単に累積加算することにより、長時間露出と同等の露出を得られるようにする方法が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

【0006】

しかしながら、特許文献1に示される方法では、単純に複数枚の撮像画像を累積加算するため、上述の手ブレが発生した場合には、シャッター時間を長くする場合と同様に、ボケた画像となる。

【0007】

手ブレが発生した場合においても画像がボケないようにする（「手ブレ」した画像を回避する）方法として、例えば、キャノン株式会社製のデジタルカメラで採用されている「イメージスタビライザー（略称IS）」と称する方法がある。

【0008】

イメージスタビライザーでは、光学系レンズ内にブレセンサを設け、そのブレセンサによりデジタルカメラの揺れや振動を検知し、検知したデジタルカメラの揺れや振動を表すデジタル信号に従って、レンズ群の一部（補正光学系）を光軸に対し垂直方向に移動させ、像ブレを打ち消す方向に光線を屈折させる。

【0009】

イメージスタビライザーによれば、長焦点やシャッター速度が遅くなる場合にお

いて影響が大となる、手持ち撮影や、風などによる撮影台の微妙な振動の揺れに起因する画像のブレを抑え、シャープな（鮮明な）画像をユーザに提供することができる。

【0010】

しかしながら、イメージスタビライザーでは、ブレを検知する専用のセンサや、レンズ群の一部（補正光学系）を高速に動かす機構が必要となるため、構造が複雑になり、製造コストが高くなるという問題がある。

【0011】

その他の「カメラブレ」した画像を回避する方法としては、高速シャッターにより連続で複数枚撮像し、撮像された複数枚の画像のうち、2枚目以降の撮像画像について1枚目の撮像画像とのズレ量を検出し、そのズレ量だけ2枚目以降の撮像画像を補正して1枚目の画像に順次加算する方法がある（例えば、特許文献2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 参照）。これら従来の方法では、基本的に、2枚目以降の撮像画像のそれぞれから、所定の補正または補間により、1枚目の撮像画像と同様のデータ配列を持つ補正画像が形成され、それらを、1枚目の撮像画像に、画素単位で、単純加算または線形加算する方式が採用されている。

【0012】

この方法では、高速（連続）撮像された画像の一枚一枚は、シャッター時間（露出時間）が短いため、ブレの小さい暗い画像となる。そして、1枚目の撮像画像に2枚目以降の撮像画像を加算するため、加算して得られる最終的な画像は、適正露出と同一の明るさの画像とすることができる。

【0013】

この方法は、2枚目以降の撮像画像について1枚目の撮像画像とのズレ量を検出し、そのズレ量だけ撮像画像を補正（補間）する際、1画素のR（Red）信号（赤色データ）、G（Green）信号（緑色データ）、B（Blue）信号（青色データ）のそれぞれの色信号（データ）を、線形補間、バイキュービック補間などの各種の補間関数を用いた補間方法により補間（補正）するものである。

【0014】

【特許文献1】

特開平05-236422号公報

【特許文献2】

特開2000-217032号公報

【特許文献3】

特開2000-224460号公報

【特許文献4】

特開2000-244803号公報

【特許文献5】

特開2000-244797号公報

【特許文献6】

特開2000-069352号公報

【特許文献7】

特開平10-341367号公報

【特許文献8】

特開平09-261526号公報

【0015】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、撮像素子として単板センサが採用されている撮像装置の場合、1画素からR信号、G信号、B信号のうちのいずれか1つの色信号しか出力されない。従って、上述したような各種の補間方法では、複数枚の画像のズレ量を補間することができず、また、単板センサの場合に適用可能なその他の補間方法も提案されていない。

【0016】

本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、例えば、単板センサを採用した撮像装置において、カメラブレが発生している場合においても、より鮮明な画像を得ることができるようにするものである。

【0017】

【課題を解決するための手段】

本発明の画像処理方法は、1画素につき所定のn個の画素値を有する画像を撮

像する撮像手段が撮像した複数の入力画像どうしの位置関係を検出する検出ステップと、検出ステップの処理により検出された位置関係に基づき、出力画像の画素位置毎に複数の入力画像から考慮すべき観測画素成分を特定し、特定された観測画素成分に基づき、1画素につき $(n+1)$ 個以上の画素値を有する出力画像を推定する画像推定ステップとを含むことを特徴とする。

【0018】

画像推定ステップには、検出ステップの処理により検出された位置関係に基づき、出力画像の画素位置毎に複数の入力画像から考慮すべき観測画素値を選択し、選択された観測画素値に基づき、1画素につき $(n+1)$ 個以上の画素値を有する出力画像を推定させることができる。

【0019】

画像推定ステップには、検出ステップの処理により検出された位置関係に基づき、複数の入力画像から、1画素につき $(n+1)$ 個以上の画素値を有する出力画像を推定させることができる。

【0020】

画像推定ステップでは、出力画像の各画素位置および／またはその周辺における色相関を考慮して、出力画像が推定されるようにすることができる。

【0021】

画像推定ステップでは、入力画像の画素の画素値がエッジの急峻度合いに応じた画素値に変更され、変更後の画素値に基づき、出力画像が推定されるようにすることができる。

【0022】

n は1であり、画像推定ステップには、検出ステップの処理により検出された位置関係に基づき、複数の入力画像から、1画素につき3個の画素値を有する出力画像を推定させることができる。

【0023】

撮像手段は、単板センサであり、観測される色信号が入力画像の位置に応じて変わるようにすることができる。

【0024】

撮像手段は、複数の入力画像を、適正露出未満で撮像し、複数の入力画像それぞれの画素値のゲインアップを行う露出補正ステップをさらに含むようにすることができる。

【0025】

画像推定ステップは、複数の入力画像それぞれの各画素に対して、検出ステップの処理により検出された位置関係に応じた各画素の補正位置を求め、補正位置を中心とする所定の領域内の出力画像の光の積分値と、補正位置の画素の画素値との差が、所定の誤差の範囲内であるという光量積分条件式を生成する光量積分条件式生成ステップと、光量積分条件式を演算する演算ステップとを有するようにすることができる。

【0026】

光量積分条件式を生成する際には、複数の入力画像のゲインアップが行われている場合に、所定の誤差の値をゲインアップの量に依存して変化させるようにすることができる。

【0027】

画像推定ステップには、複数の入力画像それぞれの各画素に対して、検出ステップの処理により検出された位置関係に応じた各画素の補正位置を求め、補正位置が出力画像の各画素の位置の近傍にある入力画像の画素の画素値と、ゲインアップの量に依存する誤差とを考慮して、出力画像を推定させることができる。

【0028】

画像推定ステップには、複数の入力画像それぞれの各画素に対して、検出ステップの処理により検出された位置関係に応じた各画素の補正位置を求め、補正位置が出力画像の各画素の位置の近傍にある入力画像の画素の画素値と、補正位置と出力画像の画素の位置との距離と、を考慮して、出力画像を推定させることができる。

【0029】

画像推定ステップには、複数の入力画像それぞれの各画素に対して、検出ステップの処理により検出された位置関係に応じた各画素の補正位置を求め、補正位置が出力画像の各画素の位置の近傍にある入力画像の画素の画素値に基づいて、

バネモデルにより、出力画像を推定させることができる。

【0030】

本発明の画像処理装置は、1画素につき所定の n 個の画素値を有する複数の入力画像を撮像する撮像手段と、複数の入力画像どうしの位置関係を検出する検出手段と、検出手段により検出された位置関係に基づき、出力画像の画素位置毎に複数の入力画像から考慮すべき観測画素成分を特定し、特定された観測画素成分に基づき、1画素につき $(n+1)$ 個以上の画素値を有する前記出力画像を推定する画像推定手段とを備えることを特徴とする。

【0031】

本発明のプログラムは、1画素につき所定の n 個の画素値を有する画像を撮像する撮像手段が撮像した複数の入力画像どうしの位置関係を検出する検出ステップと、検出ステップの処理により検出された位置関係に基づき、出力画像の画素位置毎に複数の入力画像から考慮すべき観測画素成分を特定し、特定された観測画素成分に基づき、1画素につき $(n+1)$ 個以上の画素値を有する出力画像を推定する画像推定ステップとをコンピュータに実行させることを特徴とする。

【0032】

本発明においては、1画素につき所定の n 個の画素値を有する複数の入力画像どうしの位置関係が検出され、その検出された位置関係に基づき、出力画像の画素位置毎に複数の入力画像から考慮すべき観測画素成分を特定し、特定された観測画素成分に基づき、1画素につき $(n+1)$ 個以上の画素値を有する出力画像が推定される。

【0033】

画像処理装置は、独立した装置であっても良いし、1つの装置の画像処理を行うブロックであっても良い。

【0034】

【発明の実施の形態】

以下に本発明の実施の形態を説明するが、出願当初の請求項に記載の構成要件と、発明の実施の形態における具体例との対応関係を例示すると、次のようになる。この記載は、出願当初の請求項に記載されている発明をサポートする具体例

が、発明の実施の形態に記載されていることを確認するためのものである。従って、発明の実施の形態中には記載されているが、構成要件に対応するものとして、ここには記載されていない具体例があったとしても、そのことは、その具体例が、その構成要件に対応するものではないことを意味するものではない。逆に、具体例が構成要件に対応するものとしてここに記載されていたとしても、そのことは、その具体例が、その構成要件以外の構成要件には対応しないものであることを意味するものでもない。

【0035】

さらに、この記載は、発明の実施の形態に記載されている具体例に対応する発明が、出願当初の請求項に全て記載されていることを意味するものではない。換言すれば、この記載は、発明の実施の形態に記載されている具体例に対応する発明であって、この出願の出願当初の請求項には記載されていない発明の存在、すなわち、将来、分割出願されたり、補正により追加される発明の存在を否定するものではない。

【0036】

請求項1に記載の画像処理方法は、複数の入力画像から出力画像を推定する画像処理方法において、1画素につき所定の n 個の画素値を有する画像を撮像する撮像手段が撮像した前記複数の入力画像どうしの位置関係を検出する検出ステップ（例えば、図2のステップS3）と、前記検出ステップの処理により検出された前記位置関係に基づき、前記出力画像の画素位置毎に前記複数の入力画像から考慮すべき観測画素成分を特定し、該特定された観測画素成分に基づき、1画素につき $(n+1)$ 個以上の画素値を有する前記出力画像を推定する画像推定ステップ（例えば、図2のステップS4）とを含むことを特徴とする。

【0037】

請求項8に記載の画像処理方法は、前記撮像手段は、前記複数の入力画像を、適正露出未満で撮像し、前記複数の入力画像それぞれの画素値のゲインアップを行う露出補正ステップ（例えば、図2のステップS2）をさらに含むことを特徴とする。

【0038】

請求項 9 に記載の画像処理方法は、前記画像推定ステップは、前記複数の入力画像それぞれの各画素に対して、前記検出ステップの処理により検出された前記位置関係に応じた前記各画素の補正位置を求め、前記各画素の補正位置を中心とする所定の領域内の前記出力画像の光の積分値と、前記各画素の画素値との差が、所定の誤差の範囲内であるという光量積分条件式（例えば、式（20）で表される光量積分条件式）を生成する光量積分条件式生成ステップ（例えば、図 6 のステップ S 11）と、前記光量積分条件式を演算する演算ステップ（例えば、図 6 のステップ S 14）とを有することを特徴とする。

【0039】

請求項 14 に記載の画像処理装置は、複数の入力画像から出力画像を推定する画像処理装置（例えば、図 1 のデジタルカメラ 1）において、1 画素につき所定の n 個の画素値を有する前記複数の入力画像を撮像する撮像手段（例えば、図 1 の撮像素子 4）と、前記複数の入力画像どうしの位置関係を検出する検出手段（例えば、図 4 の動き検出回路 23）と、前記検出手段により検出された前記位置関係に基づき、前記出力画像の画素位置毎に前記複数の入力画像から考慮すべき観測画素成分を特定し、該特定された観測画素成分に基づき、1 画素につき $(n + 1)$ 個以上の画素値を有する前記出力画像を推定する画像推定手段（例えば、図 4 の演算回路 24）とを備えることを特徴とする。

【0040】

請求項 15 に記載のプログラムの各ステップの具体例も、請求項 1 に記載の画像処理方法の各ステップの発明の実施の形態における具体例と同様である。

【0041】

（第 1 実施の形態）

図 1 は、本発明を適用したデジタル（スチル）カメラ 1 の一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

【0042】

図 1 のデジタルカメラ 1 は、レンズ 2、絞り 3、撮像素子 4、相関 2 重サンプリング回路 5、A/D(Analog/Digital)コンバータ 6、信号処理回路 7、タイミングジェネレータ 8、D/A(Digital/Analog)コンバータ 9、ビデオエンコーダ 10

、モニタ 1 1、コーデック (CODEC) 1 2、メモリ 1 3、バス 1 4、CPU (Central Processing Unit) 1 5、および入力デバイス 1 6 で構成される。また、A/D コンバータ 6 は、シフト回路 2 1 を、信号処理回路 7 は、フレームメモリ 2 2 をそれぞれ有している。

【0 0 4 3】

図示せぬ被写体からの光は、レンズ 2、絞り 3 等の光学系を通過して、撮像素子 4 に入射される。CCD や CMOS 等で構成される単板センサの撮像素子 4 は、所定の画素 (撮像素子) 数を有している。

【0 0 4 4】

撮像素子 4 は、タイミングジェネレータ 8 から供給される露光タイミング信号に従い、所定の間隔で、所定の時間 (シャッタ時間) だけ、入射される被写体の光を受光する。そして、撮像素子 4 は、撮像面上の各受光素子に到達した受光量を光電変換により電気信号に変換し、その電気信号に変換された画像信号を相関 2 重サンプリング回路 5 に供給する。撮像素子 4 は、単板センサとなっているので、相関 2 重サンプリング回路 5 に供給する電気信号は、1 画素につき R 信号、G 信号、B 信号のうちのいずれか 1 個の色信号 (データ) である。

【0 0 4 5】

ここで、カメラブレが発生していても、より鮮明な画像を出力するために、撮像素子 4 は、適正露出におけるシャッタ速度 (シャッタ時間 (露出時間)) よりも高速に (短いシャッタ時間で) 複数枚 (以下では、N 枚とする) 撮像するものとする。従って、撮像素子 4 で撮像された N 枚の画像 (入力画像) は、適正露出で撮像された画像より、暗いもの (適正露出未満で撮像されたもの) となっており、適正露出で撮像された画像の M_k 分の 1 ($= 1 / M_k$) ($k = 1$ 乃至 N) の明るさであるとする。なお、 M_k の値は、例えば、シャッタ速度により決定される。

【0 0 4 6】

相関 2 重サンプリング回路 5 は、撮像素子 4 から供給される画像信号 (電気信号) のノイズ成分を、相関 2 重サンプリングにより除去し、A/D コンバータ 6 に供給する。A/D コンバータ 6 は、相関 2 重サンプリング回路 5 から供給される、

ノイズ除去された被写体の画像信号をA/D変換、即ち、サンプリングして量子化する。その後、シフト回路21が、適正露出以下の暗い画像であるA/D変換後のデジタル画像を、例えば、 n' ビットシフトすることなどによって Mk 倍することにより、適正露出と同一の明るさ（値）の画像信号に変換し（ゲインアップし）、信号処理回路7に供給する。

【0047】

相関2重サンプリング回路5では、画像信号のノイズ成分が除去されるが、ノイズ成分のすべてが完全に除去されるわけではない。従って、相関2重サンプリング回路5で除去されないノイズ成分も存在する。この場合、相関2重サンプリング回路5で除去されないノイズ成分は、画像信号の真値に対する誤差となり、シフト回路21において、画像信号とともに Mk 倍されることになる。従って、誤差は、シフト回路21におけるゲインアップの量に依存すると言える。ここで、相関2重サンプリング回路5で除去されないノイズ成分のノイズ量を E とする。このノイズ量 E としては、撮像素子4の特性に応じて、例えば、考えられる最大値を採用することができる。ここで、A/Dコンバータ6から信号処理回路7に供給される画像信号には、ノイズ量 E の Mk 倍（ $E \times Mk$ ）程度のノイズが含まれる。また、例えば、 $Mk = 8$ とすると、シフト回路21では、 $n' = 3$ として、 k 枚目の撮像画像が3ビットシフトされることにより、撮像画像が適正露出の場合と同一の明るさにされる。

【0048】

Mk 倍の明るさに変換され、適正露出と同一の明るさにゲインアップされた、A/Dコンバータ6から供給される N 枚の撮像画像の画像信号は、信号処理回路7のフレームメモリ22に一時的に格納（記憶）される。

【0049】

信号処理回路7は、予め設定された各種のプログラムに従い、フレームメモリ22に記憶されている適正露出と同一の明るさにゲインアップされた N 枚の撮像画像の画像信号に所定の処理を施す。

【0050】

即ち、信号処理回路7は、 N 枚の撮像画像のうち、1枚目の撮像画像を基準画

像、2乃至N枚目の撮像画像それぞれをターゲット画像とし、ターゲット画像が基準画像に対して、どのような位置ズレを起こしているか、基準画像とターゲット画像との位置ズレのズレ量（位置関係）を検出する。そして、信号処理回路7は、そのズレ量に基づいて、カメラブレが補正された1枚の鮮明な画像（出力画像）としての、1画素につきG信号、R信号、B信号のすべてを有する出力画像を求め、その求めた出力画像の画像信号を、D/Aコンバータ9またはコーデック12、あるいは、その両方に供給する。信号処理回路7は、DSP（Digital Signal Processor）等で構成することができる。なお、以下においては、特に断りがない場合においても、A/Dコンバータ6より後段で処理される画像信号は、適正露出と同一の明るさにゲインアップされたものであるとする。

【0051】

タイミングジェネレータ8は、所定の間隔でN枚の画像の撮像が行われるように、露光（露出）タイミング信号を、撮像素子4、相関2重サンプリング回路5、A/Dコンバータ6、および信号処理回路7に供給する。この間隔は、例えば、被写体の明るさなどに合わせて、ユーザが変更することができるようになっている。ユーザが間隔を変更する場合、入力デバイス16をユーザが操作することによりCPU15で決定される間隔の変更値が、CPU15よりバス14を介して、タイミングジェネレータ8に供給される。

【0052】

D/Aコンバータ9は、信号処理回路7から供給された出力画像の画像信号をD/A変換し、ビデオエンコーダ10に供給する。ビデオエンコーダ10は、D/Aコンバータ9から供給された画像信号（アナログ信号）を、モニタ11で表示することができるビデオ信号に変換し、モニタ11に供給する。モニタ11は、デジタルカメラ1のファインダ等の役割を果たすもので、LCDやCRTなどで構成され、ビデオエンコーダ10から供給されるビデオ信号を表示する。これにより、モニタ11では、鮮明な画像が表示される。

【0053】

コーデック12は、信号処理回路7から供給された出力画像の画像信号を、JPEG（Joint Photographic Experts Group）方式、MPEG（Moving Picture Experts Gr

oup)方式や、DV (Digital Video) 方式などの所定の方式に従って符号化し、メモリ 13 に供給する。

【0054】

メモリ 13 は、フラッシュメモリなどの半導体メモリで構成され、コーデック 12 から供給される符号化された画像信号を一時的または永久的に記憶（記録）する。なお、メモリ 13 の代わりに、磁気ディスク、光（磁気）ディスク等の記録媒体を用いることができる。メモリ 13 またはメモリ 13 の代わりに用いる記録媒体は、デジタルカメラ 1 に対して着脱可能とすることができる。なお、デジタルカメラ 1 に内蔵される記録媒体と、デジタルカメラ 1 に着脱可能な記録媒体の両方を設けるようにすることも可能である。

【0055】

CPU 15 は、バス 14 を介して各部に制御信号を供給し、各種の処理を制御する。例えば、ユーザの操作に応じて入力デバイス 16 から供給される撮像開始の信号に従い、被写体を撮像し、その画像をメモリ 13 に記憶するように、各部に制御信号を供給する。

【0056】

入力デバイス 16 は、デジタルカメラ 1 本体にあるリリースボタンなどの操作ボタン類を有している。ユーザが操作ボタンを操作することにより発生する各種の信号が、バス 14 を介して CPU 15 に供給され、CPU 15 は、入力デバイス 16 からバス 14 を介して供給される各種の信号に従う処理を実行するように各部を制御する。なお、入力デバイス 16 の 1 以上の操作ボタンは、モニタ 11 に表示することが可能である。モニタ 11 に表示された操作ボタンの操作は、例えば、モニタ 11 上に透明なタブレットを設け、そのタブレットにより検出するようにすることができる。

【0057】

図 2 のフローチャートを参照して、デジタルカメラ 1 の撮像処理について説明する。

【0058】

初めに、ステップ S1 において、撮像素子 4 は、被写体を撮像する。即ち、撮

像素子4は、1回のレリーズボタン（シャッターボタン）押下による撮影において、タイミングジェネレータ8から供給される露光タイミング信号に従い、所定の間隔でN回連続して、入射される被写体の光を受光することにより、N回の高速撮像を行う。従って、1回の撮影において、N枚の撮像画像が得られ、各撮像画像は、適正露出以下の暗い画像となる。受光された被写体の光は、光電変換され、相関2重サンプリング回路5においてノイズ成分が除去された後、A/Dコンバータ6に供給される。そして、ステップS2に進む。

【0059】

ステップS2において、A/Dコンバータ6は、相関2重サンプリング回路5から供給される、ノイズ除去された被写体の画像信号をデジタル変換する。その後、シフト回路21が、適正露出以下の暗い画像を、 n' ビットシフトして適正露出と同じ明るさ（値）の画像信号に変換し（ゲインアップし）、信号処理回路7に供給して、ステップS3に進む。

【0060】

ステップS3において、信号処理回路7は、1枚目の画像を基準画像とするとともに、2枚目以降の各画像をターゲット画像として、ターゲット画像（2乃至N枚目の画像）が基準画像に対して、どのような位置ずれを起こしているか、即ち、基準画像に対するターゲット画像の位置ズレのズレ量（動き量）を検出して、ステップS4に進む。

【0061】

ステップS4において、信号処理回路7は、N枚の撮像画像と、ステップS3で検出された基準画像に対するターゲット画像の位置ズレのズレ量に基づいて、画像推定処理を行い、ステップS5に進む。画像推定処理の詳細は後述するが、この処理により、信号処理回路7は、カメラブレが補正された1枚の鮮明な画像（出力画像）としての1画素がG信号、R信号、B信号のすべてを有する出力画像を求め、その求めた出力画像の画像信号を、D/Aコンバータ9またはコーデック12、あるいは、その両方に供給する。

【0062】

ステップS5では、モニタ11が出力画像を表示し、フラッシュメモリ等のメ

メモリに出力画像を記録して、処理を終了する。即ち、ステップS5では、ステップS4で信号処理回路7からD/Aコンバータ9に供給された画像信号がアナログ信号に変換され、ビデオエンコーダ10に供給される。さらに、ステップS5では、ビデオエンコーダ10は、D/Aコンバータ9から供給された画像信号のアナログ信号を、モニタ11に表示することができるビデオ信号に変換し、モニタ11に供給する。そして、ステップS5において、モニタ11は、ビデオエンコーダ10から供給されたビデオ信号に基づいて、画像を表示して、処理を終了する。また、ステップS5では、ステップS4で信号処理回路7からコーデック12に供給された画像信号に対し、JPEGやMPG等の所定の符号化が施され、フラッシュメモリ等のメモリに記録され、処理を終了する。

【0063】

図3は、撮像素子4の画素の配列を示している。なお、図3では、撮像素子4のうちの左上の一部分の画素（横方向6画素、縦方向4画素の計24画素）を示しているが、それ以外の部分の画素も同様に配置されているものとする。

【0064】

ここで、図3において、撮像素子4の左上の角を原点として、横（右）方向をX方向、縦（下）方向をY方向とするX-Y座標系を設定する。また、1画素の縦および横方向の長さ（幅）をそれぞれ1とする。この場合、左からi番目で、上からj番目の画素の位置（本実施形態では中心位置）は、 $(i-0.5, j-0.5)$ と表すことができる。

【0065】

図3において、撮像素子4の画素の配列は、いわゆる、ペイヤー配列となっている。

【0066】

即ち、G信号を取り出すことのできる画素としては、原点からX方向に1番目で、Y方向に1番目の画素である画素G00、原点からX方向に3番目で、Y方向に1番目の画素である画素G02、原点からX方向に5番目で、Y方向に1番目の画素である画素G04、原点からX方向に2番目で、Y方向に2番目の画素である画素G11、以下、同様に、画素G13、画素G15、画素G20、画素

G 2 2, 画素 G 2 4、画素 G 3 1、画素 G 3 3、画素 G 3 5 が配置されている。

【0067】

また、R 信号を取り出すことのできる画素としては、原点から X 方向に 2 番目で、Y 方向に 1 番目の画素である画素 R 0 1、原点から X 方向に 4 番目で、Y 方向に 1 番目の画素である画素 R 0 3、原点から X 方向に 6 番目で、Y 方向に 1 番目の画素である画素 R 0 5、原点から X 方向に 2 番目で、Y 方向に 3 番目の画素である画素 R 2 1、以下、同様に、画素 R 2 3、画素 R 2 5 が配置されている。

【0068】

さらに、B 信号を取り出すことのできる画素としては、原点から X 方向に 1 番目で、Y 方向に 2 番目の画素である画素 B 1 0、原点から X 方向に 3 番目で、Y 方向に 2 番目の画素である画素 B 1 2、原点から X 方向に 5 番目で、Y 方向に 2 番目の画素である画素 B 1 4、原点から X 方向に 1 番目で、Y 方向に 4 番目の画素である画素 B 3 0、以下、同様に、画素 B 3 2、画素 B 3 4 が配置されている。

【0069】

ここで、撮像素子 4 の X-Y 座標系における所定の位置 (x, y) (x, y は実数) について、カメラブレがない 1 枚の鮮明な画像の G 信号、R 信号、B 信号を、それぞれ $L_g(x, y)$, $L_r(x, y)$, $L_b(x, y)$ とする。さらに、左から i 番目で、上から j 番目である「 i 番目、 j 番目の画素」について、カメラブレがない 1 枚の鮮明な画像の G 信号、R 信号、B 信号を、それぞれ $L_g(i, j)$, $L_r(i, j)$, $L_b(i, j)$ とする。即ち、 $L_g(x, y)$, $L_r(x, y)$, $L_b(x, y)$ ($L_g(i, j)$, $L_r(i, j)$, $L_b(i, j)$) それぞれは、所定の位置 (x, y) (「 i 番目、 j 番目の画素」) における、カメラブレや、ノイズのない、真の緑色、赤色、青色の光量 (データ) を表す。従って、以下においては、 $L_g(x, y)$, $L_r(x, y)$, $L_b(x, y)$ ($L_g(i, j)$, $L_r(i, j)$, $L_b(i, j)$) それぞれを真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ ($L_g(i, j)$)、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ ($L_r(i, j)$)、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ ($L_b(i, j)$) と称する。なお、 $x = i - 0.5$, $y = j - 0.5$ である場合、 $L_g(x, y) = L_g(i,$

$j)$, $L_r(x, y) = L_r(i, j)$, $L_b(x, y) = L_b(i, j)$ である。

【0070】

また、本実施の形態においては、撮像素子4の画素の配列は、ベイヤー配列であるものとするが、画素の配列は、ベイヤー配列に限定されるものではなく、その他の配列でもよい。

【0071】

次に、G信号、R信号、B信号それぞれの画素について使用する変数 $i_g, j_g, i_r, j_r, i_b, j_b$ を定義する。

【0072】

変数 i_g, j_g それぞれは、G信号を取り出すことのできる画素についての、X方向の位置 i 、Y方向の位置 j を表す。即ち、変数 i_g, j_g の組み合わせは、G信号を取り出すことのできる、変数 i, j の組み合わせと等しい。ベイヤー配列の場合には、その配列の性質から、変数 i と j との差 ($i - j$) が偶数であるという条件を満たす変数 i_g, j_g ということもできる。なお、当然ながら、変数 i_g と j_g との差 ($i_g - j_g$) も偶数となる。従って、「 i_g 番目、 j_g 番目の画素」とは、G信号を取り出すことのできる画素である。なお、ベイヤー配列以外の配列の場合には、その配列の性質に応じた変数 i_g, j_g の条件となる。

【0073】

変数 i_r, j_r それぞれは、R信号を取り出すことのできる画素についての、X方向の位置 i 、Y方向の位置 j を表す。即ち、変数 i_r, j_r の組み合わせは、R信号を取り出すことのできる、変数 i, j の組み合わせと等しい。ベイヤー配列の場合には、その配列の性質から、変数 i が偶数、かつ変数 i と j との差 ($i - j$) が奇数であるという条件を満たす変数 i_r, j_r ということもできる。なお、当然ながら、変数 i_r と j_r との差 ($i_r - j_r$) も奇数となる。従って、「 i_r 番目、 j_r 番目の画素」とは、R信号を取り出すことのできる画素である。なお、ベイヤー配列以外の配列の場合には、その配列の性質に応じた変数 i_r, j_r の条件となる。

【0074】

変数 i_b , j_b それぞれは、B信号を取り出すことのできる画素についての、X方向の位置 i 、Y方向の位置 j を表す。即ち、変数 i_b , j_b の組み合わせは、B信号を取り出すことのできる、変数 i , j の組み合わせと等しい。ベイヤー配列の場合には、その配列の性質から、変数 i が奇数、かつ変数 i と j との差 ($i - j$) が奇数であるという条件を満たす変数 i_b , j_b ということもできる。なお、当然ながら、変数 i_b と j_b との差 ($i_b - j_b$) も奇数となる。従って、「 i_b 番目, j_b 番目の画素」とは、B信号を取り出すことのできる画素である。なお、ベイヤー配列以外の配列の場合には、その配列の性質に応じた変数 i_b , j_b の条件となる。

【0075】

次に、図3に示した撮像素子4の各画素で受光して得られる色信号 (G信号、R信号、B信号) の値 (画素値) について定義する。

【0076】

上述したように、撮像素子4では、N枚の画像が撮像される。従って、撮像素子4の1つの画素についてN個の画素値が得られる。そこで、 k 枚目 ($k = 1$ 乃至 N) の「 i_g 番目, j_g 番目の画素」で得られる画素値を $Gobs(k, i_g, j_g)$ 、 k 枚目 ($k = 1$ 乃至 N) の「 i_r 番目, j_r 番目の画素」で得られる画素値を $Robs(k, i_r, j_r)$ 、 k 枚目 ($k = 1$ 乃至 N) の「 i_b 番目, j_b 番目の画素」で得られる画素値を $Bobs(k, i_b, j_b)$ とする。例えば、1枚目の画素G00で得られる画素値は、 $Gobs(1, 1, 1)$ で表され、2枚目のG04で得られる画素値は、 $Gobs(2, 5, 1)$ で表される。なお、以下において、特に断りがない場合、 k は、1乃至Nの整数を表すものとする。

【0077】

逆に言うと、画素値 $Gobs(k, i_g, j_g)$ 、 $Robs(k, i_r, j_r)$ 、 $Bobs(k, i_b, j_b)$ をもつ画素は、それぞれ、画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ 、 $R(j_r - 1)(i_r - 1)$ 、 $B(j_b - 1)(i_b - 1)$ である。

【0078】

図4は、図1の信号処理回路7の一部分についての詳細な構成例を示している。

【0079】

信号処理回路7は、フレームメモリ22、動き検出回路23、演算回路24、コントローラ25で構成されている。また、フレームメモリ22は、フレームメモリ22-1乃至22-N、動き検出回路23は、動き検出回路23-1乃至23-(N-1)で構成されている。

【0080】

上述したように、A/Dコンバータ6からN枚の撮像画像がフレームメモリ22に供給される。フレームメモリ22-1は、A/Dコンバータ6から供給される1枚目の撮像画像を記憶（格納）する。フレームメモリ22-2は、A/Dコンバータ6から供給される2枚目の撮像画像を記憶する。以下同様にして、フレームメモリ22-kは、A/Dコンバータ6から供給されるk枚目の撮像画像をフレームメモリ22-kに記憶する（k=3乃至N）。

【0081】

フレームメモリ22-1は、所定のタイミングにおいて、記憶している1枚目の撮像画像を演算回路24と動き検出回路23-1に供給する。フレームメモリ22-2は、所定のタイミングにおいて、記憶している2枚目の撮像画像を演算回路24と動き検出回路23-1に供給する。以下、同様にして、フレームメモリ22-kは、所定のタイミングにおいて、記憶しているk枚目の撮像画像を演算回路24と動き検出回路23-(k-1)に供給する。

【0082】

動き検出回路23は、2枚の撮像画像どうしの位置関係を検出する。即ち、動き検出回路23は、1枚目の撮像画像を基準画像とするとともに、2枚目以降の各撮像画像をターゲット画像として、ターゲット画像（2乃至N枚目の画像）が基準画像に対して、どのような位置ずれを起こしているか、基準画像に対するターゲット画像の位置ズレのズレ量（動き量）を検出する。なお、このズレ量は、例えば、手ブレにより生じるものである。

【0083】

動き検出回路23-1には、基準画像としての1枚目の撮像画像がフレームメモリ22-1から、ターゲット画像としての2枚目の撮像画像がフレームメモリ22-2から、それぞれ供給される。

【0084】

動き検出回路23-1は、2枚目の撮像画像の各画素（あるいは、画面全体を複数のブロックに分割したときの各ブロック）が、1枚目の撮像画像のどの位置に対応しているかを検出し、1枚目の撮像画像と2枚目の撮像画像との位置関係が次式(1)で表されるような、回転角度 $\theta 2$ 、スケール $S 2$ 、平行移動量($T 2 x$, $T 2 y$)で構成される変換パラメータ($\theta 2$, $T 2 x$, $T 2 y$, $S 2$)を求め、演算回路24に供給する。

【0085】

【数1】

$$\begin{pmatrix} X1_{(2)} \\ Y1_{(2)} \end{pmatrix} = S2 \begin{pmatrix} \cos(\theta 2) & -\sin(\theta 2) \\ \sin(\theta 2) & \cos(\theta 2) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X2 \\ Y2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T2x \\ T2y \end{pmatrix} \quad \dots (1)$$

【0086】

式(1)は、いわゆるアフィン変換の式であり、式(1)において、($X 2$, $Y 2$)は2枚目の撮像画像の画素の位置であり、($X 1_{(2)}$, $Y 1_{(2)}$)は1枚目の撮像画像上の位置である。下付きの(2)は、2枚目の撮像画像のある位置が位置変換されたことを表している。

【0087】

この変換パラメータ($\theta 2$, $T 2 x$, $T 2 y$, $S 2$)は、2枚目の撮像画像上の位置($X 2$, $Y 2$)が、1枚目の撮像画像上の位置($X 1$, $Y 1$)に対して、例えば、手持ち撮影のため、角度 $\theta 2$ だけ回転し、被写体方向にデジタルカメラ1が移動したために画像が $S 2$ 倍だけ拡大($S 2 < 1$ のときは、縮小)され、被写体に対して平行方向に($T 2 x$, $T 2 y$)だけずれたことを意味する。なお、通常手ブレの場合には、撮像素子4の面と平行な横方向のブレ(揺れ)の影響が

大きく、デジタルカメラ 1 から被写体の方向に対するブレ（揺れ）は少ないので、デジタルカメラ 1 から被写体の方向に対しては影響がないとして、 $S2 = 1$ と近似してもよい。

【0088】

また、動き検出回路 23-2 には、基準画像としての 1 枚目の撮像画像がフレームメモリ 22-1 から、ターゲット画像としての 3 枚目の撮像画像がフレームメモリ 22-3 から、それぞれ供給される。

【0089】

動き検出回路 23-2 は、3 枚目の撮像画像の各画素（あるいは、画面全体を複数のブロックに分割したときの各ブロック）が、1 枚目の撮像画像のどの位置に対応しているかを検出し、1 枚目の撮像画像と 3 枚目の撮像画像との位置関係が次式（2）で表されるような、回転角度 $\theta 3$ 、スケール $S3$ 、平行移動量（ $T3x$, $T3y$ ）で構成される変換パラメータ（ $\theta 3$, $T3x$, $T3y$, $S3$ ）を求め、演算回路 24 に供給する。

【0090】

【数 2】

$$\begin{pmatrix} X1_{(3)} \\ Y1_{(3)} \end{pmatrix} = S3 \begin{pmatrix} \cos(\theta 3) & -\sin(\theta 3) \\ \sin(\theta 3) & \cos(\theta 3) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X3 \\ Y3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T3x \\ T3y \end{pmatrix} \quad \dots (2)$$

【0091】

式（2）は、いわゆるアフィン変換の式であり、式（2）において、 $(X3, Y3)$ は 3 枚目の撮像画像の画素の位置であり、 $(X1_{(3)}, Y1_{(3)})$ は 1 枚目の撮像画像上の位置がである。下付きの（3）は、3 枚目の撮像画像のある位置が位置変換されたことを表している。

【0092】

この変換パラメータ（ $\theta 3$, $T3x$, $T3y$, $S3$ ）は、3 枚目の撮像画像上の位置（ $X3$, $Y3$ ）が、1 枚目の撮像画像上の位置（ $X1$, $Y1$ ）に対して、手持ち撮影のため、角度 $\theta 3$ だけ回転し、被写体方向にデジタルカメラ 1 が移動

したために画像が S_3 倍だけ拡大 ($S_3 < 1$ のときは、縮小) され、被写体に対して平行方向に $(T_3 x, T_3 y)$ だけずれたことを意味する。なお、通常手ブレの場合には、撮像素子 4 の面と平行な横方向のブレ (揺れ) の影響が大きく、デジタルカメラ 1 から被写体の方向に対するブレ (揺れ) は少ないので、デジタルカメラ 1 から被写体の方向に対しては影響がないとして、 $S_3 = 1$ と近似してもよい。

【0093】

以下同様に、動き検出回路 23 - (k - 1) には、基準画像としての 1 枚目の撮像画像がフレームメモリ 22 - 1 から、ターゲット画像としての k 枚目の撮像画像がフレームメモリ 22 - k から、それぞれ供給される。

【0094】

動き検出回路 23 - (k - 1) は、k 枚目の撮像画像の各画素 (あるいは、画面全体を複数のブロックに分割したときの各ブロック) が、1 枚目の撮像画像のどの位置に対応しているかを検出し、1 枚目の撮像画像と k 枚目の撮像画像との位置関係が次式 (3) で表されるような、回転角度 θ_k 、スケール S_k 、平行移動量 $(T_k x, T_k y)$ で構成される変換パラメータ ($\theta_k, T_k x, T_k y, S_k$) を求め、演算回路 24 に供給する。

【0095】

【数 3】

$$\begin{pmatrix} X_{1(k)} \\ Y_{1(k)} \end{pmatrix} = S_k \begin{pmatrix} \cos(\theta_k) & -\sin(\theta_k) \\ \sin(\theta_k) & \cos(\theta_k) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_k \\ Y_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_k x \\ T_k y \end{pmatrix} \quad (k=4 \text{ 乃至 } N)$$

... (3)

【0096】

式 (3) は、いわゆるアフィン変換の式であり、式 (3) において、 (X_k, Y_k) は k 枚目の撮像画像の画素の位置であり、 $(X_{1(k)}, Y_{1(k)})$ は、1 枚目の撮像画像上の位置である。下付きの (k) は、k 枚目の画像のある位置が位置変換されたことを表している。

【0097】

この変換パラメータ (θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k) は、 k 枚目の撮像画像上の位置 (X_k , Y_k) が、1 枚目の撮像画像上の位置 (X_1 , Y_1) に対して、手持ち撮影のため、角度 θ_k だけ回転し、被写体方向にデジタルカメラ 1 が移動したために画像が S_k 倍だけ拡大 ($S_k < 1$ のときは、縮小) され、被写体に対して平行方向に (T_{kx} , T_{ky}) だけずれたことを意味する。なお、通常手ブレの場合には、撮像素子 4 の面と平行な横方向のブレ (揺れ) の影響が大きく、デジタルカメラ 1 から被写体の方向に対するブレ (揺れ) は少ないので、デジタルカメラ 1 から被写体の方向に対しては影響がないとして、影響がないとして、 $S_k = 1$ と近似してもよい。

【0098】

上述のように、1 枚目の撮像画像を基準とする、 k 枚目の撮像画像の位置関係から変換パラメータ (θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k) を求める方法の他、デジタルカメラ 1 に加速度センサを設け、その加速度センサの出力から、いわば、メカニカル的に変換パラメータ (θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k) を求めるようにすることもできる。

【0099】

演算回路 24 には、フレームメモリ 22-1 乃至 22-N から N 枚の撮像画像が供給される。また、演算回路 24 には、動き検出回路 23-1 乃至 23-($N-1$) から 1 枚目の撮像画像と k 枚目の撮像画像との位置関係を表す変換パラメータ (θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k) が供給される。

【0100】

演算回路 24 は、動き検出回路 23-1 乃至 23-($N-1$) から供給される 2 乃至 N 枚目の撮像画像の、1 枚目の撮像画像に対する位置関係に基づき、後述する画像推定処理を行うことにより、カメラブレを補正する 1 枚の鮮明な画像としての画像信号 (G 信号、R 信号、B 信号) を推定し、D/A コンバータ 9 またはコーデック 12 に供給する。A/D コンバータ 6 から信号処理回路 7 に供給される N 枚の撮像画像それぞれは、1 画素が G 信号、R 信号、B 信号のうちのいずれか 1 つを有する信号であるのに対して、演算回路 24 が推定する画像信号は、1 画

素につきG信号、R信号、B信号の3個の色信号を有する信号（データ）である。

【0101】

コントローラ25は、CPU15の制御に従い、信号処理回路7内のフレームメモリ22-1乃至22-N、動き検出回路23-1乃至23-(N-1)、演算回路24等の制御を行う。なお、CPU15（図1）が、コントローラ25に代えて、信号処理回路7内のフレームメモリ22-1乃至22-N、動き検出回路23-1乃至23-(N-1)、演算回路24等の制御を行うようにすることができ、この場合には、コントローラ25を省略することができる。

【0102】

なお、ベイヤー配列等を使った単板センサでは、G信号の画素数に対して、R信号やB信号の画素数が少なくなっている。そのため、出力画像におけるR信号やB信号は、G信号に較べて誤差が大となる場合がある。そのような場合には、演算回路24の後段に、輝度信号はそのまま、色差信号に対してのみ高周波成分の帯域を制限するローパスフィルタを配置することにより、ノイズを除去することができる。

【0103】

また、演算回路24を、連続撮像している最中に、撮像画像を順次取り込みながら処理が可能なりリアルタイム処理を行う高速演算回路とすることにより、フレームメモリ22-1乃至22-N、および動き検出回路23-1乃至23-(N-1)の数を少なく構成することができる。これにより、信号処理回路7の規模を小さくすることが可能となる。

【0104】

次に、上述した信号処理回路7における、画像推定処理の第1実施の形態について説明する。

【0105】

例えば、いま、撮像素子4の各画素（の受光部）の直上には、不図示のオンチップレンズが配置されているものとする。オンチップレンズは、そのオンチップレンズ内に入射した被写体の光すべてを1点に収束する。従って、オンチップレ

レンズの直下にある画素は、オンチップレンズ内に入射した被写体の光すべてを積分値として受光することができる。これにより、各画素の検出感度が良くなるという効果が得られる。

【0106】

従って、撮像素子4の各画素で受光されるデータ（受光量）は、その画素の、ある1点に入射される被写体の光の値ではなく（即ち、ポイントサンプリングされたデータではなく）、ある有限の面積を持った面（受光面）に入射される被写体の光の積分値である。

【0107】

第1実施の形態では、このオンチップレンズの特性を正確に定式化することにより、画像推定処理として鮮明な画像（出力画像）を求める。なお、従来では、各画素のデータは、ポイントサンプリングされたデータとして考えることが一般的であった。しかしながら、本来は、上述したように、実際の撮像素子4の各画素はオンチップレンズにより、ある面積を持った面に入射した光の値（積分値）となるため、正確な画像を推定（復元）しているとは言い難かった。

【0108】

初めに、フレームメモリ22-1に記憶されている1枚目の画像について、各画素で得られる画素値とオンチップレンズにより入射される光との関係を定式化する。

【0109】

例えば、図3の一番左上の「1番目、1番目の画素」である画素G00については、その画素値Gobs(1, 1, 1)と、真の緑色の光量Lg(x, y)との関係は、次式(4)のように表すことができる。

【0110】

【数4】

$$\int_0^1 \int_0^1 Lg(x, y) dx dy = Gobs(1, 1, 1)$$

... (4)

【0111】

単板センサである受光素子 4 の一番左上の画素 G 0 0 には、入射される光のうち、緑色の成分のみを透過するように、緑色のフィルタが装着されている。画素 G 0 0 が受光する光は、オンチップレンズの効果のため、図 3 の座標系において $(0, 0)$, $(0, 1)$, $(1, 0)$, および $(1, 1)$ で囲まれる矩形領域に入射する光となる。即ち、 $(0, 0)$, $(0, 1)$, $(1, 0)$, および $(1, 1)$ で囲まれる矩形領域に入射される被写体の光の全ては、「1 番目、1 番目の画素」である G 0 0 で受光される。

【0112】

式 (4) の左辺は、1 枚目の撮像画像の座標系の位置 (x, y) における（入射する）真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ を、 $(0, 0)$, $(0, 1)$, $(1, 0)$, および $(1, 1)$ で囲まれる矩形領域、即ち、 $0 \leq x < 1$ および $0 \leq y < 1$ で積分したものである。また、式 (4) の右辺は、そのとき 1 枚目の「1 番目、1 番目の画素」で得られる（観測される）画素値 $G_{obs}(1, 1, 1)$ である。式 (4) は、1 枚目の撮像時における画素 G 0 0 の受光面に入射する真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ の、その受光面での積分値が、画素 G 0 0 で観測される画素値 $G_{obs}(1, 1, 1)$ に等しいことを表している。

【0113】

なお、オンチップレンズの性能によっては、各画素の周辺部（いわゆる、「はじ」の部分）に入射される被写体の光を収束させることができない場合もある。その場合、式 (4) の左辺で積分される範囲を、例えば、ひとまわり小さくして、例えば $(0.1, 0.1)$, $(0.1, 0.9)$, $(0.9, 0.1)$, および $(0.9, 0.9)$ で囲まれる矩形領域とすればよい。

【0114】

また、デジタルカメラでは、単板センサの欠点である偽色を回避するために、オプティカルローパスフィルタを各画素の前に組み込んでいるものが多く、その場合、1 画素の矩形領域よりも少し広範囲の光が画素に入力される。そのときには、式 (4) の左辺で積分される範囲を、反対に、ひとまわり大きい矩形領域とすればよい。

【0115】

次に、図3において画素G00の右隣にある、「2番目, 1番目の画素」である画素R01について考える。

【0116】

「2番目, 1番目の画素」である画素R01については、その画素値Robs(1, 2, 1)と、真の緑色の光量Lg(x, y)との関係は、次式(5)のよう

【0117】

【数5】

$$\int_0^1 \int_1^2 L_r(x, y) dx dy = Robs(1, 2, 1)$$

... (5)

【0118】

単板センサである受光素子4の一番左上の画素R01には、入射される光のうち、赤色の成分のみを透過するように、赤色のフィルタが装着されている。画素R01が受光する光は、オンチップレンズの効果のため、図3の座標系において(1, 0), (1, 1), (2, 0), および(2, 1)で囲まれる矩形領域に入射する光となる。即ち、(1, 0), (1, 1), (2, 0), および(2, 1)で囲まれる矩形領域に入射される被写体の光の全ては、「2番目, 1番目の画素」であるR01で受光される。

【0119】

式(5)の左辺は、1枚目の撮像画像の座標系の位置(x, y)における(入射する)真の赤色の光量Lr(x, y)を、(1, 0), (1, 1), (2, 0), および(2, 1)で囲まれる矩形領域、即ち、 $1 \leq x < 2$ および $0 \leq y < 1$ で積分したものである。また、式(5)の右辺は、そのとき1枚目の「2番目, 1番目の画素」で得られる(観測される)画素値Robs(1, 2, 1)である。式(5)は、1枚目の撮像時における画素R01の受光面に入射する真の赤色の光量Lr(x, y)の、その受光面での積分値が、画素R01で観測される画素値Robs(1, 2, 1)に等しいことを表している。

【0120】

なお、オンチップレンズの性能によっては、各画素の周辺部（いわゆる、「はじ」の部分）に入射される被写体の光を収束させることができない場合もある。その場合、式（５）の左辺で積分される範囲を、例えば、ひとまわり小さくして、例えば（１．１，０．１），（１．１，０．９），（１．９，０．１），および（１．９，０．９）で囲まれる矩形領域とすればよい。

【０１２１】

また、デジタルカメラでは、単板センサの欠点である偽色を回避するために、オプティカルローパスフィルタを各画素の前に組み込んでいるものが多く、その場合、１画素の矩形領域よりも少し広範囲の光が画素に輸入される。そのときには、式（５）の左辺で積分される範囲を、反対に、ひとまわり大きい矩形領域とすればよい。

【０１２２】

１枚目の撮像画像のその他の画素についても同様に式をたてることができる。

【０１２３】

即ち、図３において「 i_g 番目、 j_g 番目の画素」である画素 $G(j_g-1)(i_g-1)$ については、その画素値 $G_{obs}(1, i_g, j_g)$ と、真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ との関係は、式（６）のように表すことができる。

【０１２４】

【数６】

$$\int_{j_g-1}^{j_g} \int_{i_g-1}^{i_g} L_g(x, y) dx dy = G_{obs}(1, i_g, j_g) \quad \dots (6)$$

【０１２５】

式（６）は、真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ を、図３の座標系において (i_g-1, j_g-1) ， (i_g-1, j_g) ， (i_g, j_g-1) ，および (i_g, j_g) で囲まれる矩形領域、即ち、１枚目の撮像画像の座標系の $i_g-1 \leq x < i_g$ および $j_g-1 \leq y < j_g$ で積分したものが、画素値 $G_{obs}(1, i_g, j_g)$ であることを表している。

【０１２６】

また、図3において「 i_r 番目、 j_r 番目の画素」である $R(j_r-1)(i_r-1)$ については、その画素値 $Robs(1, i_r, j_r)$ と、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ との関係は、式(7)のように表すことができる。

【0127】

【数7】

$$\int_{j_r-1}^{j_r} \int_{i_r-1}^{i_r} L_r(x, y) dx dy = Robs(1, i_r, j_r) \quad \dots (7)$$

【0128】

式(7)は、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ を、図3の座標系において (i_r-1, j_r-1) 、 (i_r-1, j_r) 、 (i_r, j_r-1) 、および (i_r, j_r) で囲まれる矩形領域、即ち、1枚目の撮像画像の座標系の $i_r-1 \leq x < i_r$ および $j_r-1 \leq y < j_r$ で積分したものが、画素値 $Robs(1, i_r, j_r)$ であることを表している。

【0129】

さらに、図3において「 i_b 番目、 j_b 番目の画素」である画素 $B(j_b-1)(i_b-1)$ については、その画素値 $Bobs(1, i_b, j_b)$ と、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ との関係は、式(8)のように表すことができる。

【0130】

【数8】

$$\int_{j_b-1}^{j_b} \int_{i_b-1}^{i_b} L_b(x, y) dx dy = Bobs(1, i_b, j_b) \quad \dots (8)$$

【0131】

式(8)は、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ を、図3の座標系において (i_b-1, j_b-1) 、 (i_b-1, j_b) 、 (i_b, j_b-1) 、および (i_b, j_b) で囲まれる矩形領域、即ち、1枚目の撮像画像の座標系の $i_b-1 \leq x < i_b$ および $j_b-1 \leq y < j_b$ で積分したものが、画素値 $Bobs(1, i_b, j_b)$ であることを表している。

【0 1 3 2】

なお、実際には、上述したように、画像信号（観測される画素値）には、ノイズ量Eも含まれており、さらに、そのノイズ量EはMk倍にゲインアップされている。そこで、(E×Mk)のノイズ成分を式(6)，(7)，(8)に考慮すると、それぞれ、式(9)，(10)，(11)で表される光量積分条件式が得られる。

【0 1 3 3】

【数9】

$$\left| \int_{jg-1}^{jg} \int_{ig-1}^{ig} Lg(x, y) dx dy - Gobs(1, ig, jg) \right| \leq M1 \times E$$

... (9)

【数10】

$$\left| \int_{jr-1}^{jr} \int_{ir-1}^{ir} Lr(x, y) dx dy - Robs(1, ir, jr) \right| \leq M1 \times E$$

... (10)

【数11】

$$\left| \int_{jb-1}^{jb} \int_{ib-1}^{ib} Lb(x, y) dx dy - Bobs(1, ib, jb) \right| \leq M1 \times E$$

... (11)

【0 1 3 4】

ここで、|x|は、xの絶対値を表す。

【0 1 3 5】

式(9)は、光量Lg(x, y)の積分値と、観測される画素値Gobs(1, ig, jg)との差が、想定し得るノイズ量の最大値M1×E以下であることを表している。式(10)および式(11)も同様である。

【0 1 3 6】

以下の説明では、k枚目の撮像画像のことをk枚目画像とも称することにする。

【0 1 3 7】

次に、フレームメモリ 2 2 - 2 に記憶されている 2 枚目画像について、1 枚目画像と同様に、各画素で得られる（観測される）画素値とオンチップレンズにより入射される光との関係を定式化する。

【0 1 3 8】

2 枚目以降の撮像画像の座標系は、動き検出回路 2 3 により検出された変換パラメータ $(\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k)$ ($k = 2$ 乃至 N) を用いて 1 枚目の撮像画像の座標系に変換される。

【0 1 3 9】

2 枚目画像の「1 番目、1 番目の画素」である画素 G_{00} については、その画素値 $G_{obs}(2, 1, 1)$ と、緑色の光量 $L_g(x, y)$ との関係は、次式 (1 2) のように表すことができる。

【0 1 4 0】

【数 1 2】

$$\int_{0_{(2)}}^{1_{(2)}} \int_{0_{(2)}}^{1_{(2)}} L_g(x, y) dx dy = G_{obs}(2, 1, 1) \quad \dots (12)$$

【0 1 4 1】

受光素子 4 の一番左上の画素 G_{00} は、入射される光のうち、緑色の成分のみを吸収するように、緑色のフィルタが装着されている。画素 G_{00} が受光する光は、オンチップレンズの効果のため、2 枚目画像の座標系において $(0, 0)$, $(0, 1)$, $(1, 0)$, および $(1, 1)$ で囲まれる矩形領域に入射する光となる。

【0 1 4 2】

その 2 枚目画像の座標系における位置 $(0, 0)$, $(0, 1)$, $(1, 0)$, および $(1, 1)$ を、変換パラメータ $(\theta_2, T_{2x}, T_{2y}, S_2)$ を用いて 1 枚目画像の座標系に変換した位置が、 $(0_{(2)}, 0_{(2)})$, $(0_{(2)}, 1_{(2)})$, $(1_{(2)}, 0_{(2)})$, および $(1_{(2)}, 1_{(2)})$ である。従って、 $(0_{(2)}, 0_{(2)})$, $(0_{(2)}, 1_{(2)})$, $(1_{(2)}, 0_{(2)})$, および $(1_{(2)}, 1_{(2)})$ で囲まれる矩形領域に入射される被写体の光の全ては、2 枚目の撮像時に「1 番目、1 番目の

画素」である画素 G 0 0 で受光される。なお、2 枚目画像の位置 (x, y) を 1 枚目の画像の座標に変換した位置を $P(2, x, y)$ とも書くことにする。

【0143】

式 (12) の左辺は、真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ を、 $P(2, 0, 0)$ 、 $P(2, 0, 1)$ 、 $P(2, 1, 0)$ 、および $P(2, 1, 1)$ で囲まれる矩形領域、即ち、1 枚目座標系において、 $(0(2), 0(2))$ 、 $(0(2), 1(2))$ 、 $(1(2), 0(2))$ 、および $(1(2), 1(2))$ で囲まれる矩形領域で積分したものである。また、式 (12) の右辺は、そのとき 2 枚目画像の「1 番目、1 番目の画素」で得られる画素値 $G_{obs}(2, 1, 1)$ である。式 (12) は、2 枚目の画素 G 0 0 で観測される画素値 $G_{obs}(2, 1, 1)$ が、1 枚目の撮像時における座標系において、 $(0(2), 0(2))$ 、 $(0(2), 1(2))$ 、 $(1(2), 0(2))$ 、および $(1(2), 1(2))$ で囲まれる矩形領域の範囲に入射する真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ の積分値に等しいことを表す。式 (12) において、 $\int \int dx dy$ は、 $(0(2), 0(2))$ 、 $(0(2), 1(2))$ 、 $(1(2), 0(2))$ 、および $(1(2), 1(2))$ で囲まれる矩形領域の積分を表すものとする。式 (13) 以降も同様である。

【0144】

なお、オンチップレンズの性能によっては、各画素の周辺部（いわゆる、「はじ」の部分）に入射される被写体の光を収束させることができない場合もある。その場合、式 (12) の左辺で積分される範囲を、上述した 1 枚目の画像の場合と同様に、ひとまわり小さい矩形領域とすればよい。

【0145】

また、デジタルカメラでは、単板センサの欠点である偽色を回避するために、オプティカルローパスフィルタを各画素の前に組み込んでいるものが多く、その場合、1 画素の矩形領域よりも少し広範囲の光が画素に入力される。そのときには、式 (12) の左辺で積分される範囲を、反対に、ひとまわり大きい矩形領域とすればよい。

【0146】

次に、2 枚目画像の画素 G 0 0 の右隣となる、「2 番目、1 番目の画素」であ

る画素 R 0 1 について考える。

【0 1 4 7】

2 枚目画像の「2 番目, 1 番目の画素」である画素 R 0 1 については、その画素値 R o b s (2, 2, 1) と、真の赤色の光量 L r (x, y) との関係は、次式 (1 3) のように表すことができる。

【0 1 4 8】

【数 1 3】

$$\int_{0(2)}^{1(2)} \int_{1(2)}^{2(2)} L_r(x, y) dx dy = R_{obs}(2, 2, 1)$$

... (1 3)

【0 1 4 9】

受光素子 4 の一番左上の画素 R 0 1 は、入射される光のうち、赤色の成分のみを吸収するように、赤色のフィルタが装着されている。画素 R 0 1 が受光する部分は、オンチップレンズの効果のため、2 枚目画像の座標系において (1, 0), (1, 1), (2, 0), および (2, 1) で囲まれる矩形領域に入射する光となる。

【0 1 5 0】

その 2 枚目画像の座標系における位置 (1, 0), (1, 1), (2, 0), および (2, 1) を、変換パラメータ ($\theta 2$, T 2 x, T 2 y, S 2) を用いて 1 枚目画像の座標系に変換した位置が、(1 (2), 0 (2)), (1 (2), 1 (2)), (2 (2), 0 (2)), および (2 (2), 1 (2)) である。従って、(1 (2), 0 (2)), (1 (2), 1 (2)), (2 (2), 0 (2)), および (2 (2), 1 (2)) で囲まれる矩形領域に入射される被写体の光の全ては、2 枚目の撮像時に「2 番目, 1 番目の画素」である R 0 1 で受光される。

【0 1 5 1】

式 (1 3) の左辺は、真の赤色の光量 L r (x, y) を、P (2, 1, 0), P (2, 1, 1), P (2, 2, 0), および P (2, 2, 1) で囲まれる矩形領域、即ち、1 枚目座標系において、(1 (2), 0 (2)), (1 (2), 1 (2)), (2 (2), 0 (2)), および (2 (2), 1 (2)) で囲まれる矩形領域で積分したもので

ある。また、式(13)の右辺は、そのとき2枚目の「2番目、1番目の画素」で得られる画素値 $Robs(2, 2, 1)$ である。式(13)は、2枚目の画素 $R01$ で観測される画素値 $Robs(2, 2, 1)$ が、1枚目の撮像時における座標系において、 $(1(2), 0(2))$ 、 $(1(2), 1(2))$ 、 $(2(2), 0(2))$ 、および $(2(2), 1(2))$ で囲まれる矩形領域の範囲に入射する真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ の積分値に等しいことを表す。

【0152】

なお、オンチップレンズの性能によっては、各画素の周辺部（いわゆる、「はじ」の部分）に入射される被写体の光を収束させることができない場合もある。その場合、式(13)の左辺で積分される範囲を、例えば、ひとまわり小さい矩形領域とすればよい。

【0153】

また、デジタルカメラでは、単板センサの欠点である偽色を回避するために、オプティカルローパスフィルタを各画素の前に組み込んでいるものが多く、その場合、1画素の矩形領域よりも少し広範囲の光が画素に入力される。そのときには、式(13)の左辺で積分される範囲を、反対に、ひとまわり大きい矩形領域とすればよい。

【0154】

2枚目画像のその他の画素についても同様に式をたてることができる。

【0155】

即ち、2枚目画像の「 i_g 番目、 j_g 番目の画素」である $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ については、その画素値 $Gobs(2, i_g, j_g)$ と、真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ との関係は、式(14)のように表すことができる。

【0156】

【数14】

$$\int_{j_g-1(2)}^{j_g(2)} \int_{i_g-1(2)}^{i_g(2)} L_g(x, y) dx dy = Gobs(2, i_g, j_g)$$

... (14)

【0157】

式(14)は、真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ を、2枚目画像の座標系において (i_g-1, j_g-1) 、 (i_g-1, j_g) 、 (i_g, j_g-1) 、および (i_g, j_g) で囲まれる矩形領域、即ち、1枚目画像の座標系において、 $(i_g-1(2), j_g-1(2))$ 、 $(i_g-1(2), j_g(2))$ 、 $(i_g(2), j_g-1(2))$ 、および $(i_g(2), j_g(2))$ で囲まれる矩形領域で積分したものである。また、式が画素値 $Gobs(2, i_g, j_g)$ であることを表している。

【0158】

また、2枚目画像の「 i_r 番目、 j_r 番目の画素」である $R(j_r-1)(i_r-1)$ については、その画素値 $Robs(2, i_r, j_r)$ と、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ との関係は、式(15)のように表すことができる。

【0159】

【数15】

$$\int_{j_g-1(2)}^{j_g(2)} \int_{i_r-1(2)}^{i_r(2)} L_r(x, y) dx dy = Robs(2, i_r, j_r) \quad \dots (15)$$

【0160】

式(15)は、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ を、2枚目画像の座標系において (i_r-1, j_r-1) 、 (i_r-1, j_r) 、 (i_r, j_r-1) 、および (i_r, j_r) で囲まれる矩形領域、即ち、1枚目画像の座標系において、 $(i_r-1(2), j_r-1(2))$ 、 $(i_r-1(2), j_r(2))$ 、 $(i_r(2), j_r-1(2))$ 、および $(i_r(2), j_r(2))$ で囲まれる矩形領域で積分したものが画素値 $Robs(2, i_r, j_r)$ であることを表している。

【0161】

さらに、2枚目画像の「 i_b 番目、 j_b 番目の画素」である $B(j_b-1)(i_b-1)$ については、その画素値 $Bobs(2, i_b, j_b)$ と、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ との関係は、式(16)のように表すことができる。

【0162】

【数 1 6】

$$\int_{j_b-1(2)}^{j_b(2)} \int_{i_b-1(2)}^{i_b(2)} L_b(x, y) dx dy = Bobs(2, i_b, j_b) \quad \dots (16)$$

【0 1 6 3】

式 (16) は、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ を、2 枚目画像の座標系において (i_b-1, j_b-1) , (i_b-1, j_b) , (i_b, j_b-1) , および (i_b, j_b) で囲まれる矩形領域、即ち、1 枚目画像の座標系において、 $(i_b-1(2), j_b-1(2))$, $(i_b-1(2), j_b(2))$, $(i_b(2), j_b-1(2))$, および $(i_b(2), j_b(2))$ で囲まれる矩形領域で積分したものが画素値 $Bobs(2, i_b, j_b)$ であることを表している。

【0 1 6 4】

なお、実際には、上述したように、画像信号（観測される画素値）には、ノイズ量 E も含まれており、さらに、そのノイズ量 E は M_k 倍にゲインアップされている。 $(E \times M_k)$ のノイズ成分を式 (14), (15), (16) に考慮すると、それぞれ、式 (17), (18), (19) で表される光量積分条件式が得られる。

【0 1 6 5】

【数 1 7】

$$\left| \int_{j_g-1(2)}^{j_g(2)} \int_{i_g-1(2)}^{i_g(2)} L_g(x, y) dx dy - Gobs(2, i_g, j_g) \right| \leq M_2 \times E \quad \dots (17)$$

【数 1 8】

$$\left| \int_{j_r-1(2)}^{j_r(2)} \int_{i_r-1(2)}^{i_r(2)} L_r(x, y) dx dy - Robs(2, i_r, j_r) \right| \leq M_2 \times E \quad \dots (18)$$

【数 1 9】

$$\left| \int_{j_b-1(2)}^{j_b(2)} \int_{i_b-1(2)}^{i_b(2)} L_b(x, y) dx dy - Bobs(2, i_b, j_b) \right| \leq M_2 \times E$$

... (19)

【0166】

ここで、 $|x|$ は、 x の絶対値を表す。

【0167】

式 (17) は、光量 $L_g(x, y)$ の積分値と、観測される画素値 $Gobs(2, i_g, j_g)$ との差が、想定し得るノイズ量の最大値 $M2 \times E$ 以下であることを表している。式 (18) および式 (19) も同様である。

【0168】

図5を参照して、2枚目画像の位置 (x, y) と、その位置 (x, y) を1枚目画像の座標に変換した位置 $P(2, x, y)$ との関係について説明する。

【0169】

図5左側は、2枚目画像の座標系における、所定の4点 $(i-1, j-1)$, $(i-1, j)$, $(i, j-1)$, および (i, j) で囲まれる矩形領域のある画素31を示している。

【0170】

図5右側は、左側の画素31を1枚目画像の座標系に変換した後の画素31'を示している。従って、図5左側の画素31と図5右側の画素31'は、同じ被写体（の一部）が映っている（例えば、ある風景）。

【0171】

ここでは、2枚目以降の撮像画像の各画素の画素値が、基準画像である1枚目の画像の撮像時の光（被写体からの光）の積分値として得られるとして、その積分値を得るときの積分範囲を、1枚目の座標系を基準として設定する。これにより、手ブレにより位置ズレが生じていた1乃至N枚目の撮像画像の、いわば位置合わせ（1枚目の撮像画像を基準とした位置合わせ）が行われる。

【0172】

2枚目画像の座標系における位置 $(i-1, j-1)$ は、変換パラメータ $(\theta_2, T2_x, T2_y, S2)$ により変換することで、1枚目画像の座標系での位置 $P(2, i-1, j-1)$ とすることができる。また、2枚目画像の座標系における位置 $(i-1, j)$ は、変換パラメータ $(\theta_2, T2_x, T2_y, S2)$

により変換することで、1枚目画像の座標系での位置 $P(2, i-1, j)$ とすることができる。同様に、2枚目画像の座標系における位置 $(i, j-1)$ と (i, j) も、変換パラメータ $(\theta_2, T_{2x}, T_{2y}, S_2)$ により変換することで、1枚目画像の座標系での位置 $P(2, i, j-1)$ と $P(2, i, j)$ と、それぞれすることができる。なお、X座標軸またはY座標軸が、単にXまたはYと表されている場合には、1枚目画像の座標系におけるX座標軸またはY座標軸を表すものとする。

【0173】

上述した2枚目画像と同様に、 k 枚目画像 ($k=3$ 乃至 N) の座標系における位置 $(i-1, j-1)$, $(i-1, j)$, $(i, j-1)$, および (i, j) も、変換パラメータ $(\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k)$ により変換することで、1枚目画像の座標系での位置 $P(k, i-1, j-1)$, $P(k, i-1, j)$, $P(k, i, j-1)$, および $P(k, i, j)$ と、それぞれすることができる。

【0174】

そして、 k 枚目画像 ($k=3$ 乃至 N) について、 M_k 倍にゲインアップされたノイズ量 E を考慮すると、式(17)乃至式(19)と同様の式(20)乃至(22)で表される光量積分条件式が得られる。

【0175】

【数20】

$$\left| \int_{jg-1(k)}^{jg(k)} \int_{ig-1(k)}^{ig(k)} Lg(x, y) dx dy - Gobs(k, ig, jg) \right| \leq M_k \times E$$

... (20)

【0176】

式(20)は、真の緑色の光量 $Lg(x, y)$ を、 $P(k, ig-1, jg-1)$, $P(k, ig-1, jg)$, $P(k, ig, jg-1)$, および $P(k, ig, jg)$ で囲まれる矩形領域、即ち、1枚目座標系において、 $(ig-1(k), jg-1(k))$, $(ig-1(k), jg(k))$, $(ig(k), jg-1(k))$, および $(ig(k), jg(k))$ で囲まれる矩形領域で積分したものと、 k 枚目画像の

「i g 番目、j g 番目の画素」で得られる画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ とが、 $M k$ 倍にゲインアップされたノイズ量 E (誤差) を考慮して等しいこと、即ち、真の緑色の光量 $L g (x, y)$ の積分値と、観測される画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ との差 (絶対値) が、想定し得るノイズ量の最大値以下であることを表している。ここで、 $|x|$ は、 x の絶対値を表す。

【0177】

【数21】

$$\left| \int_{j r-1(k)}^{j r(k)} \int_{i r-1(k)}^{i r(k)} L r(x, y) d x d y - R o b s(k, i r, j r) \right| \leq M k \times E$$

. . . (21)

【0178】

式 (21) は、真の赤色の光量 $L r (x, y)$ を、 $P (k, i r-1, j r-1)$, $P (k, i r-1, j r)$, $P (k, i r, j r-1)$, および $P (k, i r, j r)$ で囲まれる矩形領域、即ち、1 枚目座標系において、 $(i r-1(k), j r-1(k))$, $(i r-1(k), j r(k))$, $(i r(k), j r-1(k))$, および $(i r(k), j r(k))$ で囲まれる矩形領域で積分したものと、 k 枚目画像の「i r 番目、j r 番目の画素」で得られる画素値 $R o b s (k, i r, j r)$ とが、 $M k$ 倍にゲインアップされたノイズ量 E (誤差) を考慮して等しいこと、即ち、真の赤色の光量 $L r (x, y)$ の積分値と、観測される画素値 $R o b s (k, i r, j r)$ との差 (絶対値) が、想定し得るノイズ量の最大値以下であることを表している。ここで、 $|x|$ は、 x の絶対値を表す。

【0179】

【数22】

$$\left| \int_{j b-1(k)}^{j b(k)} \int_{i b-1(k)}^{i b(k)} L b(x, y) d x d y - B o b s(k, i b, j b) \right| \leq M k \times E$$

. . . (22)

【0180】

式 (22) は、真の青色の光量 $L b (x, y)$ を、 $P (k, i b-1, j b-1)$, $P (k, i b-1, j b)$, $P (k, i b, j b-1)$, および $P (k,$

$i b, j b$) で囲まれる矩形領域、即ち、1枚目座標系において、 $(i b - 1(k), j b - 1(k))$, $(i b - 1(k), j b(k))$, $(i b(k), j b - 1(k))$, および $(i b(k), j b(k))$ で囲まれる矩形領域で積分したものと、 k 枚目画像の「 $i b$ 番目、 $j b$ 番目の画素」で得られる画素値 $B o b s(k, i b, j b)$ とが、 $M k$ 倍にゲインアップされたノイズ量 E (誤差) を考慮して等しいこと、即ち、真の青色の光量 $L b(x, y)$ の積分値と、観測される画素値 $B o b s(k, i b, j b)$ との差 (絶対値) が、想定し得るノイズ量の最大値以下であることを表している。ここで、 $|x|$ は、 x の絶対値を表す。

【0181】

次に、図6のフローチャートを参照して、図2のステップS4における画像推定処理の第1実施の形態について説明する。

【0182】

初めに、ステップS11において、演算回路24は、1枚目画像の各画素の画素値 $G o b s(1, i g, j g)$ 、 $R o b s(1, i r, j r)$ 、 $B o b s(1, i b, j b)$ から、すべての $(i g, j g)$ に対して式(9)で表される光量積分条件式を、すべての $(i r, j r)$ に対して式(10)で表される光量積分条件式を、すべての $(i b, j b)$ に対して式(11)で表される光量積分条件式を生成し、ステップS12に進む。

【0183】

ステップS12において、演算回路24は、2枚目画像の各画素の画素値 $G o b s(2, i g, j g)$ 、 $R o b s(2, i r, j r)$ 、 $B o b s(2, i b, j b)$ から、すべての $(i g, j g)$ に対して式(17)で表される光量積分条件式を、すべての $(i r, j r)$ に対して式(18)で表される光量積分条件式を、すべての $(i b, j b)$ に対して式(19)で表される光量積分条件式を生成し、ステップS13に進む。ここで、演算回路24は、2枚目画像の位置を1枚目画像の位置に変換するため、動き検出回路23-1から供給される変換パラメータ $(\theta 2, T 2 x, T 2 y, S 2)$ を使用する。

【0184】

ステップS13において、演算回路24は、 k 枚目画像 ($k = 3$ 乃至 N) の各

画素の画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ 、 $R_{obs}(k, i_r, j_r)$ 、 $B_{obs}(k, i_b, j_b)$ から、すべての (i_g, j_g) に対して式 (20) で表される光量積分条件式を、すべての (i_r, j_r) に対して式 (21) で表される光量積分条件式を、すべての (i_b, j_b) に対して式 (22) で表される光量積分条件式を生成し、ステップ S14 に進む。ここで、演算回路 24 は、 k 枚目画像の位置を 1 枚目画像の位置に変換するため、動き検出回路 23 - ($k-1$) から供給される変換パラメータ ($\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k$) を使用する。

【0185】

ステップ S14 において、演算回路 24 は、ステップ S11 乃至 S13 で求めた式 (9)、(10)、(11)、(17)、(18)、(19)、(20)、(21)、および (22) の光量積分条件式を満たす解を演算することにより、真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ を推定して処理を戻す。ここで得られる真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ (の推定値) が、求めるべき 1 枚の鮮明な画像の画像信号 (G 信号、R 信号、B 信号) として、D/A コンバータ 9 またはコーデック 12 に供給される。

【0186】

なお、ステップ S14 における、全ての光量積分条件式を満たす解、即ち、真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ を求める解法としては、複数の条件を満たす画像データを求める解法を用いる。かかる解法としては、例えば、Projection Onto Convex Sets の解法 (POCS 法) などがある。POCS 法は、凸射影の繰り返しによって拘束条件に合う最適解を推定する方法であり、例えば、論文「D. C. Youla and H. Webb, "Image Restoration by the Method of Convex Projections: part 1 theory", IEEE Trans. Med. Image., vol. 1 No. 2, pp81-94, Oct. 1982」などに記載されているので、その説明を省略する。また、POCS 法を使い複数枚の低解像度動画画像から高解像度の静止画を作成する方法が特開平 8-263639 に記載されている。この従来技術の方法では、動きベクトルを使った一画素或いは半画素等の特定精度での動き補正が基本であり、各画素の値を推定する際に考慮される

画素の数は、該特定精度によって定まる固定的なものが用いられているものと考えられる。これに対し、本実施形態では、アナログ的な手法による動き補正を適用することができ、各画素の値を推定する際に考慮される画素の数は、ブレの状況によって任意に適応的に変化し得るように構成されている。

【0187】

図7のフローチャートを参照して、図2のステップS4における画像推定処理の第1実施の形態について再度説明する。

【0188】

初めに、ステップS21において、演算回路24は、内部に保持する画像の枚数をカウントする変数 k を1にセットしてステップS22に進む。

【0189】

ステップS22において、演算回路24は、 k 枚目画像の各画素の画素値 $G o b s(k, i g, j g)$ から、すべての $(i g, j g)$ に対して式(20)で表される光量積分条件式を生成し、ステップS23に進む。

【0190】

ステップS23において、演算回路24は、 k 枚目画像の各画素の画素値 $R o b s(k, i r, j r)$ から、すべての $(i r, j r)$ に対して式(21)で表される光量積分条件式を生成し、ステップS24に進む。

【0191】

ステップS24において、演算回路24は、 k 枚目画像の各画素の画素値 $B o b s(k, i b, j b)$ から、すべての $(i b, j b)$ に対して式(22)で表される光量積分条件式を生成し、ステップS25に進む。

【0192】

なお、ステップS22乃至S24において、光量積分条件式を生成するにあたっては、必要に応じて、動き検出回路23-1乃至23-($N-1$)から供給される変換パラメータが用いられる。

【0193】

ステップS25において、演算回路24は、内部の変数 k がフレームメモリ22-1乃至22- N から供給される画像の枚数 N と等しいか否かを判定する。変

数 k が画像の枚数 N と等しくないと判定された場合、演算回路 24 は、ステップ S26 に進み、変数 k を 1 だけインクリメントした後、ステップ S22 に戻る。そして、ステップ S22 乃至 S25 の処理が繰り返される。

【0194】

一方、変数 k が画像の枚数 N と等しいと判定された場合、ステップ S27 に進み、演算回路 24 は、ステップ S22 乃至 S24 で求めた $k = 1$ 乃至 N の式 (20), (21), および (22) の光量積分条件式を演算することにより、真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ を推定して処理を戻す。ここで得られる真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ が、求めるべき 1 枚の鮮明な画像の画像信号 (G 信号、R 信号、B 信号) として、D/A コンバータ 9 またはコーデック 12 に供給される。

【0195】

なお、ここで得られる真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ の画像信号は、アナログ信号である。即ち、 $L_g(x, y)$, $L_r(x, y)$, $L_b(x, y)$ は、 (x, y) の関数として求められるが、変数 x, y は、上述したように整数ではなく、実数であり、小数部分も含んでいる。その小数部分の桁数は、演算する装置の精度にもよるが、一般的には、2 進数表現で 2 桁から 3 桁程度と考えられる。従って、このように実数 (x, y) を引数とする関数である $L_g(x, y)$, $L_r(x, y)$, $L_b(x, y)$ については、必要に応じて、再度 (x, y) として整数の位置のみサンプリングし直すりサンプリングを行い、デジタル画像信号に変換して D/A コンバータ 9 またはコーデック 12 に供給することができる。

【0196】

また、高速シャッタによる N 枚の撮像時間の間に被写体が動いている場合、その動いている部分の、真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ は、時間とともに変化することとなるので、上述の方法では、正しい解を得ることが困難なことがある。

【0197】

そこで、被写体が動いている部分については、例外処理として、単純な重ね合わせで処理することができる。即ち、N枚の各画像は、ベイヤー配列のデータ（1画素につきR信号、G信号、B信号のうちのいずれか1個のみのデータ）であるが、このデータから1画素につきR信号、G信号、B信号の3つの信号を復元するデモザイキング処理を行う。さらに、デモザイキング処理後のN枚の画像を、回転、拡大または縮小、あるいは平行移動などを行って位置合せを行い、平均化する。デモザイキング処理の手法としては、従来の方法を含む任意の方法を採用することができる。

【0198】

以上のように、第1実施の形態では、各画素の直上にあるオンチップレンズの効果を加味した処理を行うことにより、カメラブレを補正した鮮明な画像を推定することができる。

【0199】

（第2実施の形態）

次に、信号処理回路7における、画像推定処理の第2実施の形態について説明する。

【0200】

第2実施の形態は、第1実施の形態における、 $k = 1$ 乃至 N とする式(20)乃至式(22)で表される光量積分条件式の他に、R信号、G信号、B信号どうしの相関に関する色相関の条件を付加して、それらすべての条件式を満たす真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ を求めるものである。

【0201】

画像の局所的な部分に着目すれば、撮像素子4に入射される被写体の光と等価な真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ には、色どうしの相関（色相関）がある。従って、光量積分条件式である式(20)乃至式(22)に加えて、色相関の条件をさらに付加することにより、より正確な解、即ち、より本来の光に忠実で鮮明な画像を求める（推定する）ことができる。

【0202】

図8と図9を参照して、具体的な色相関の条件を求める方法について説明する。図8と図9では、緑色と赤色の色相関の条件を考える。

【0203】

図8左下側の k' 枚目画像の i_g 番目、 j_g 番目の、ある緑色の画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ と、図8右下側の k'' 枚目画像の i_r 番目、 j_r 番目の、ある赤色の画素 $R(j_r - 1)(i_r - 1)$ に注目する。

【0204】

演算回路24は、 k' 枚目画像の緑色の画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ と k'' 枚目画像の赤色の画素 $R(j_r - 1)(i_r - 1)$ の位置を、第1実施の形態で説明したように、変換パラメータ $(\theta_{k'}, T_{k'x}, T_{k'y}, S_{k'})$ と変換パラメータ $(\theta_{k''}, T_{k''x}, T_{k''y}, S_{k''})$ によりそれぞれ変換することで、図8上側の1枚目画像の座標系における位置を求める。なお、 k' や k'' が1の場合も含み、その場合には、 $(\theta_1, T_{1x}, T_{1y}, S_1) = (0, 0, 0, 1)$ と考える。

【0205】

そして、演算回路24は、1枚目画像の座標系に変換された k' 枚目の緑色の画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ と1枚目画像の座標系に変換された k'' 枚目の赤色の画素 $R(j_r - 1)(i_r - 1)$ との距離を計算する。さらに、演算回路24は、その距離が、同一の位置とみなす許容値(判定値) δ (例えば、0.25画素)以内であるかどうかを判定する。

【0206】

例えば、画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ と画素 $R(j_r - 1)(i_r - 1)$ の位置を、位置 (i_g, j_g) と位置 (i_r, j_r) で、それぞれ考えることとして、 k' 枚目画像の座標系における画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ の位置 (i_g, j_g) を点 G_c と、 k'' 枚目画像の座標系における画素 $R(j_r - 1)(i_r - 1)$ の位置 (i_r, j_r) を点 R_c と、1枚目画像の座標系における画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ の位置 (i_g, j_g) を $G_c(k')$ と、1枚目画像の座標系における画素 $R(j_r - 1)(i_r - 1)$ の位置 (i_r, j_r) を $R_c(k)$

”)と、それぞれ表すこととすると、点 $G_c(k')$ と点 $R_c(k'')$ との距離が許容値 δ 以内であることを表す式 (23) は、次のように書ける。

【0207】

【数23】

$$\begin{aligned} & \text{Dis}[G_c(k'), R_c(k'')] \\ &= \text{Dis} \left[S_{k'} \begin{pmatrix} \cos(\theta_{k'}) & -\sin(\theta_{k'}) \\ \sin(\theta_{k'}) & \cos(\theta_{k'}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_g \\ j_g \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_{k'} x \\ T_{k'} y \end{pmatrix}, \right. \\ & \quad \left. S_{k''} \begin{pmatrix} \cos(\theta_{k''}) & -\sin(\theta_{k''}) \\ \sin(\theta_{k''}) & \cos(\theta_{k''}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_r \\ j_r \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_{k''} x \\ T_{k''} y \end{pmatrix} \right] \leq \delta \\ & \quad \dots (23) \end{aligned}$$

【0208】

式 (23) を距離の条件式と称する。ここで、 $\text{Dis}[G_c(k'), R_c(k'')]$ は、点 $G_c(k')$ と点 $R_c(k'')$ との間の距離を表す。また、点 $G_c(k')$ と点 $R_c(k'')$ で表される位置は、位置 (i_g, j_g) と位置 (i_r, j_r) を、式 (1) 乃至 (3) と同様に、変換パラメータ $(\theta_{k'}, T_{k'} x, T_{k'} y, S_{k'})$ と $(\theta_{k''}, T_{k''} x, T_{k''} y, S_{k''})$ でそれぞれアフィン変換したものである。

【0209】

演算回路 24 は、 k' 枚目の緑色の画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ と k'' 枚目の赤色の画素 $R(j_r - 1)(i_r - 1)$ とが、ある許容範囲 δ のマージンを考えたときに同一位置にあるとみなすことができる画素があるかどうかを、1 枚目画像の座標系における、ある位置 (x, y) を中心とする $(x \pm dX, y \pm dY)$ の近傍領域、つまり、 $(x - dX, y - dY)$ 、 $(x - dX, y + dY)$ 、 $(x + dX, y - dY)$ 、および $(x + dX, y + dY)$ で囲まれる領域について求める。ここで、 dX と dY は、それぞれ、近傍領域を設定する所定の値で、例えば、2 画素分の X 方向と Y 方向の長さなどとすることができる。

【0210】

逆に言うと、演算回路 24 は、1 枚目画像の座標系における、ある位置 $(x,$

y)を中心とする $(x \pm dX, y \pm dY)$ の近傍領域、つまり、 $(x - dX, y - dY)$ 、 $(x - dX, y + dY)$ 、 $(x + dX, y - dY)$ 、および $(x + dX, y + dY)$ で囲まれる領域において、上述の式(23)を満たす (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) を求める。

【0211】

そして、演算回路24は、求められた (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) とに対応する画素値 $Gobs(k', i_g, j_g)$ と画素値 $Rob s(k'', i_r, j_r)$ とを得る。

【0212】

演算回路24は、 k' 、 k'' それぞれを1乃至 N としたすべての組み合わせについて、上述の式(23)を満たす (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) とを求める。

【0213】

一般的には、複数の (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) との組み合わせが検出されるので、演算回路24は、検出された (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) とに対応する画素値 $Gobs(k', i_g, j_g)$ と画素値 $Rob s(k'', i_r, j_r)$ とを、図9に示すように、横軸をG信号($Gobs(k', i_g, j_g)$)、縦軸をR信号($Rob s(k'', i_r, j_r)$)とするGR空間にプロットする。

【0214】

図9は、GR空間にプロットされた、同一位置にあるとみなすことができる画素の画素値 $Gobs(k', i_g, j_g)$ と画素値 $Rob s(k'', i_r, j_r)$ とを模式的に表した図である。

【0215】

図9のバツ印が、演算回路24により検出された (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) とに対応する画素値 $Gobs(k', i_g, j_g)$ と画素値 $Rob s(k'', i_r, j_r)$ との組を表している。

【0216】

従って、位置 (x, y) の近傍領域においては、求めるべき真の緑色の光量 L

$g(x, y)$ 、および真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ には、図9に示したような相関があると考えられる。

【0217】

そこで、第2の実施の形態においては、第1実施の形態における式(20)乃至式(22)で表される光量積分条件式の他に、さらに、図9に示した緑色と赤色に相関があることを条件として付加する。

【0218】

即ち、演算回路24は、演算回路24により式(23)の距離の条件式を満たす画素値 $G_{obs}(k', i_g, j_g)$ と画素値 $R_{obs}(k'', i_r, j_r)$ との組で表される、図9のGR空間にプロットされた複数の点について、主成分分析を行う。

【0219】

そして、演算回路24は、主成分分析の分析結果である主成分(第1主成分)の方向(図9の太線の矢印で示される方向)と直交する成分(例えば、第2主成分)についての分散を求める。さらに、演算回路24は、位置 (x, y) については、GR空間において主成分の方向と直交する成分の分散の幅を持つ帯状の中に、真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、および真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ で表される点が存在するという条件式を、色相関の条件として設定する。

【0220】

以上の色相関の条件を、緑色と青色についても考える。

【0221】

演算回路24は、図8に示した緑色と赤色の画素の場合と同様に、 k' 枚目の緑色の画素 $G(j_g-1)(i_g-1)$ と k'' 枚目の青色の画素 $B(j_b-1)(i_b-1)$ の位置を、第1実施の形態で説明したように、変換パラメータ $(\theta_{k'}, T_{k'}x, T_{k'}y, S_{k'})$ と変換パラメータ $(\theta_{k''}, T_{k''}x, T_{k''}y, S_{k''})$ とによりそれぞれ変換することで、1枚目画像の座標系における位置を求める。

【0222】

そして、演算回路24は、1枚目画像の座標系に変換された k' 枚目の緑色の

画素G (j g-1) (i g-1) と1枚目画像の座標系に変換されたk'' 枚目の青色の画素B (j b-1) (i b-1) との距離を計算する。さらに、演算回路24は、その距離が、同一の位置とみなす許容値(判定値) delta以内であるかどうかを、図8の場合と同様に判定する。

【0223】

例えば、画素G (j g-1) (i g-1) と画素B (j b-1) (i b-1) の位置を、位置 (i g, j g) と位置 (i b, j b) で、それぞれ考えることとして、k' 枚目画像の座標系における画素G (j g-1) (i g-1) の位置 (i g, j g) を点G_cと、k'' 枚目画像の座標系における画素B (j b-1) (i b-1) の位置 (i b, j b) を点B_cと、1枚目画像の座標系における画素G (j g-1) (i g-1) の位置 (i g, j g) をG_c(k')と、1枚目画像の座標系における画素B (j b-1) (i b-1) の位置 (i b, j b) をB_c(k'')と、それぞれ表すこととすると、点G_c(k')と点B_c(k'')との距離が許容値delta以内であることを表す式(24)は、次のように書ける。

【0224】

【数24】

Dis[G_c(k'), B_c(k'')]

$$= \text{Dis} \left[S_{k'} \begin{pmatrix} \cos(\theta_{k'}) & -\sin(\theta_{k'}) \\ \sin(\theta_{k'}) & \cos(\theta_{k'}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_g \\ j_g \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_{k'} x \\ T_{k'} y \end{pmatrix}, \right. \\ \left. S_{k''} \begin{pmatrix} \cos(\theta_{k''}) & -\sin(\theta_{k''}) \\ \sin(\theta_{k''}) & \cos(\theta_{k''}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_b \\ j_b \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_{k''} x \\ T_{k''} y \end{pmatrix} \right] \leq \text{delta} \\ \dots (24)$$

【0225】

式(24)を距離の条件式と称する。ここで、Dis[G_c(k'), B_c(k'')] は、点G_c(k')と点B_c(k'')との間の距離を表す。また、点G_c(k')と点B_c(k'')で表される位置は、位置(i g, j g)と(i b, j b)を、式(1)乃至(3)と同様に、変換パラメータ(θ_{k'}, T_{k'} x, T_{k'} y, S_{k'})と(θ_{k''}, T_{k''} x, T_{k''} y, S_{k''})でそれぞれアフィン変換したもの

である。

【0226】

演算回路24は、 k' 枚目の緑色の画素 $G(jg-1)(ig-1)$ と k''' 枚目の青色の画素 $B(jb-1)(ib-1)$ とが、ある許容範囲 δ のマージンを考えたときに同一位置にあるとみなすことができる画素があるかどうかを、1枚目画像の座標系における、ある位置 (x, y) を中心とする $(x \pm dX, y \pm dY)$ の近傍領域、つまり、 $(x-dX, y-dY)$ 、 $(x-dX, y+dY)$ 、 $(x+dX, y-dY)$ 、および $(x+dX, y+dY)$ で囲まれる領域について求める。ここで、 dX 、 dY は、それぞれ、近傍領域を設定する所定の値で、例えば、2画素分のX方向とY方向の長さなどとすることができる。

【0227】

逆に言うと、演算回路24は、1枚目画像の座標系における、ある位置 (x, y) を中心とする $(x \pm dX, y \pm dY)$ の近傍領域、つまり、 $(x-dX, y-dY)$ 、 $(x-dX, y+dY)$ 、 $(x+dX, y-dY)$ 、および $(x+dX, y+dY)$ で囲まれる領域において、上述の式(24)を満たす (k', ig, jg) と (k''', ib, jb) を求める。

【0228】

そして、演算回路24は、求められた (k', ig, jg) と (k''', ib, jb) とに対応する画素値 $Gobs(k', ig, jg)$ と画素値 $Bobs(k''', ib, jb)$ とを得る。

【0229】

演算回路24は、 k' 、 k''' それぞれを1乃至Nとしたすべての組み合わせについて、上述の式(24)を満たす (k', ig, jg) と (k''', ib, jb) とを求める。

【0230】

一般的には、複数の (k', ig, jg) と (k''', ib, jb) との組み合わせが検出されるので、演算回路24は、検出された (k', ig, jg) と (k''', ib, jb) とに対応する画素値 $Gobs(k', ig, jg)$ と画素値 $Bobs(k''', ib, jb)$ を、横軸をG信号 $Gobs(k', ig, jg)$

)、縦軸をB信号($B o b s(k'', i b, j b)$)とするようなGB空間にプロットする。

【0 2 3 1】

そこで、第2の実施の形態においては、第1実施の形態における式(2 0)乃至式(2 2)で表される光量積分条件式の他に、さらに、図9の緑色と赤色における場合と同様の色相関が、緑色と青色にもあることを条件として付加する。

【0 2 3 2】

即ち、演算回路2 4は、GB空間にプロットされた複数の点である、演算回路2 4により検出された画素値 $G o b s(k', i g, j g)$ と画素値 $B o b s(k'', i b, j b)$ との各組について、主成分分析を行う。

【0 2 3 3】

そして、演算回路2 4は、主成分分析の分析結果である主成分(第1主成分)の方向と直交する成分(例えば、第2主成分)についての分散を求める。さらに、演算回路2 4は、位置(x, y)については、GB空間において主成分の方向と直交する成分の分散の幅を持つ帯状の中に、真の緑色の光量 $L g(x, y)$ 、および真の青色の光量 $L b(x, y)$ で表される点が存在するという条件式を、色相関の条件として設定する。

【0 2 3 4】

従って、演算回路2 4において、最終的に得られる真の緑色の光量 $L g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L r(x, y)$ 、および真の青色の光量 $L b(x, y)$ は、位置(x, y)の真の緑色の光量 $L g(x, y)$ 、および真の赤色の光量 $L r(x, y)$ で表される点が、GR空間において、主成分の方向と直交する成分の分散の幅を持つ帯状の中に存在し、かつ、位置(x, y)の真の緑色の光量 $L g(x, y)$ 、および真の青色の光量 $L b(x, y)$ で表される点が、GB空間において、主成分の方向と直交する成分の分散の幅を持つ帯状の中に存在するものに制限(制約)される。

【0 2 3 5】

なお、本実施の形態では、上述のGR、GB空間の2つの色相関の条件のみ付加することとするが、同様にして、R信号とB信号との(RB空間の)色相関の

条件についても付加するようにしてもよい。

【0236】

光量積分条件式と色相関の条件式との両方を満たす真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ を求める方法としては、例えば、第1実施の形態と同様に、POCS法等を採用することができる。

【0237】

色相関の条件を付加する位置 (x, y) は、全ての位置 (x, y) としてもよいし、例えば、 x, y それぞれが整数となる格子点の位置のみとしてもよい。

【0238】

図10のフローチャートを参照して、図2のステップS4における画像推定処理の第2実施の形態について説明する。

【0239】

ステップS31乃至S33では、図6に示した第1実施の形態の画像推定処理のステップS11乃至S13とそれぞれ同様の処理が行われる。

【0240】

即ち、ステップS31において、演算回路24は、1枚目画像の各画素の画素値 $Gobs(1, i_g, j_g)$ 、 $Robs(1, i_r, j_r)$ 、 $Bobs(1, i_b, j_b)$ から、すべての (i_g, j_g) に対して式(9)で表される光量積分条件式を、すべての (i_r, j_r) に対して式(10)で表される光量積分条件式を、すべての (i_b, j_b) に対して式(11)で表される光量積分条件式を生成し、ステップS32に進む。

【0241】

ステップS32において、演算回路24は、2枚目画像の各画素の画素値 $Gobs(2, i_g, j_g)$ 、 $Robs(2, i_r, j_r)$ 、 $Bobs(2, i_b, j_b)$ から、すべての (i_g, j_g) に対して式(17)で表される光量積分条件式を、すべての (i_r, j_r) に対して式(18)で表される光量積分条件式を、すべての (i_b, j_b) に対して式(19)で表される光量積分条件式を生成し、ステップS33に進む。ここで、演算回路24は、2枚目画像の位置を1

枚目画像の位置に変換するため、動き検出回路 2 3 - 1 から供給される変換パラメータ ($\theta 2$, $T 2 x$, $T 2 y$, $S 2$) を使用する。

【0 2 4 2】

ステップ S 3 3 において、演算回路 2 4 は、 k 枚目 ($k = 3$ 乃至 N) の画像の各画素の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ 、 $R o b s (k, i r, j r)$ 、 $B o b s (k, i b, j b)$ から、すべての ($i g, j g$) に対して式 (2 0) で表される光量積分条件式を、すべての ($i r, j r$) に対して式 (2 1) で表される光量積分条件式を、すべての ($i b, j b$) に対して式 (2 2) で表される光量積分条件式を生成し、ステップ S 3 4 に進む。ここで、演算回路 2 4 は、 k 枚目画像の位置を 1 枚目画像の位置に変換するため、動き検出回路 2 3 - ($k - 1$) から供給される変換パラメータ (θk , $T k x$, $T k y$, $S k$) を使用する。

【0 2 4 3】

ステップ S 3 4 において、演算回路 2 4 は、所定の位置 (x , y) に対して、その位置 (x , y) の近傍領域において、式 (2 3) の距離の条件式を満たす (k' , $i g, j g$) と (k'' , $i r, j r$) との組を求めて、ステップ S 3 5 に進む。

【0 2 4 4】

ステップ S 3 5 において、演算回路 2 4 は、ステップ S 3 4 で求めた (k' , $i g, j g$) と (k'' , $i r, j r$) それぞれの画素値 $G o b s (k', i g, j g)$ と $R o b s (k'', i r, j r)$ で表される点を、GR空間にプロットし、主成分分析を行う。そして、演算回路 2 4 は、主成分分析の分析結果である主成分の方向と直交する成分についての分散を求め、その分散の範囲内に、同一画素のG信号とR信号が存在するという色相関の条件式をたてて、ステップ S 3 5 からステップ S 3 6 に進む。

【0 2 4 5】

ステップ S 3 6 において、演算回路 2 4 は、所定の位置 (x , y) に対して、位置 (x , y) の近傍領域において、式 (2 4) の距離の条件式を満たす (k' , $i g, j g$) と (k''' , $i b, j b$) との組を求めて、ステップ S 3 7 に進

む。

【0246】

ステップS37において、演算回路24は、ステップS36で求めた (k', i_g, j_g) と (k'', i_b, j_b) それぞれの画素値 $Gobs(k', i_g, j_g)$ と $Bobs(k'', i_b, j_b)$ で表される点を、GB空間にプロットし、主成分分析を行う。そして、演算回路24は、主成分分析の分析結果である主成分の方向と直交する成分についての分散を求め、その分散の範囲内に、同一画素のG信号とB信号が存在するという色相関の条件式をたてて、ステップS37からステップS38に進む。

【0247】

ステップS38において、演算回路24は、予め設定されたすべての位置 (x, y) について、色相関の条件式を求めたか否かを判定する。ステップS38において、まだ、すべての位置 (x, y) について色相関の条件式が求められていないと判定された場合、ステップS34に戻り、演算回路24は、色相関の条件式が求められていない位置 (x, y) に注目（選択）し、ステップS34乃至S38の処理を繰り返す。

【0248】

一方、ステップS38において、すべての位置 (x, y) について色相関の条件式が求められたと判定された場合、ステップS39に進み、演算回路24は、ステップS31乃至S33、S35、S37で求められたすべての条件式を満たす真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ を演算して、処理を戻す。即ち、演算回路24は、ステップS31乃至S33で求められた光量積分条件式と、ステップS35およびS37で求められた色相関の条件式とのすべてを満たす、真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ を演算する。

【0249】

図11と図12のフローチャートを参照して、図2のステップS4における画像推定処理の第2実施の形態について再度説明する。

【0 2 5 0】

ステップS 5 1乃至S 5 6は、図7に示した第1実施の形態の画像推定処理のステップS 2 1乃至S 2 6とそれぞれ同様である。

【0 2 5 1】

即ち、ステップS 5 1において、演算回路2 4は、内部に保持する画像の枚数をカウントする変数 k を1にセットしてステップS 5 2に進む。

【0 2 5 2】

ステップS 5 2において、演算回路2 4は、 k 枚目画像の各画素の画素値 $G o b s(k, i g, j g)$ から、すべての $(i g, j g)$ に対して式(2 0)で表される光量積分条件式を生成し、ステップS 5 3に進む。

【0 2 5 3】

ステップS 5 3において、演算回路2 4は、 k 枚目画像の各画素の画素値 $R o b s(k, i r, j r)$ から、すべての $(i r, j r)$ に対して式(2 1)で表される光量積分条件式を生成し、ステップS 5 4に進む。

【0 2 5 4】

ステップS 5 4において、演算回路2 4は、 k 枚目画像の各画素の画素値 $B o b s(k, i b, j b)$ から、すべての $(i b, j b)$ に対して式(2 2)で表される光量積分条件式を生成し、ステップS 5 5に進む。

【0 2 5 5】

なお、ステップS 5 2乃至S 5 4において、光量積分条件式を生成するにあたっては、必要に応じて、動き検出回路2 3 - 1乃至2 3 - $(N - 1)$ から供給される変換パラメータが用いられる。

【0 2 5 6】

ステップS 5 5において、演算回路2 4は、内部の変数 k がフレームメモリ2 2 - 1乃至2 2 - N から供給される画像の枚数 N と等しいか否かを判定する。変数 k が画像の枚数 N と等しくないと判定された場合、演算回路2 4は、ステップS 5 6に進み、変数 k を1だけインクリメントした後、ステップS 5 2に戻る。そして、ステップS 5 2乃至S 5 5の処理が繰り返される。

【0 2 5 7】

一方、ステップ S 5 5 において、変数 k が画像の枚数 N と等しいと判定された場合、図 1 2 のステップ S 5 7 に進む。

【0 2 5 8】

ステップ S 5 7 乃至 S 6 2 は、図 1 0 のステップ S 3 4 乃至 S 3 9 とそれぞれ同様である。

【0 2 5 9】

即ち、ステップ S 5 7 において、演算回路 2 4 は、所定の位置 (x, y) に対して、その位置 (x, y) の近傍領域において、式 (2 3) の距離の条件式を満たす (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) との組を求めて、ステップ S 5 8 に進む。

【0 2 6 0】

ステップ S 5 8 において、演算回路 2 4 は、ステップ S 5 7 で求めた (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) それぞれの画素値 $G o b s(k', i_g, j_g)$ と $R o b s(k'', i_r, j_r)$ で表される点を、GR空間にプロットし、主成分分析を行う。そして、演算回路 2 4 は、主成分分析の分析結果である主成分の方向と直交する成分についての分散を求め、その分散の範囲内に、同一画素の G 信号と R 信号が存在するという色相関の条件式をたてて、ステップ S 5 8 からステップ S 5 9 に進む。

【0 2 6 1】

ステップ S 5 9 において、演算回路 2 4 は、所定の位置 (x, y) に対して、位置 (x, y) の近傍領域において、式 (2 4) の距離の条件式を満たす (k', i_g, j_g) と (k''', i_b, j_b) との組を求めて、ステップ S 6 0 に進む。

【0 2 6 2】

ステップ S 6 0 において、演算回路 2 4 は、ステップ S 5 9 求めた (k', i_g, j_g) と (k''', i_b, j_b) それぞれの画素値 $G o b s(k', i_g, j_g)$ と $B o b s(k''', i_b, j_b)$ で表される点を、GB空間にプロットし、主成分分析を行う。そして、演算回路 2 4 は、主成分分析の分析結果である主成分の方向と直交する成分についての分散を求め、その分散の範囲内に、同一画

素のG信号とB信号が存在するという色相関の条件式をたてて、ステップS 6 0 からステップS 6 1に進む。

【0 2 6 3】

ステップS 6 1において、演算回路2 4は、予め設定されたすべての位置 (x , y) について、色相関の条件式を求めたか否かを判定する。ステップS 6 1において、まだ、すべての位置 (x , y) について色相関の条件式が求められていないと判定された場合、ステップS 5 7に戻り、演算回路2 4は、色相関の条件式が求められていない位置 (x , y) に注目 (選択) し、ステップS 5 7乃至S 6 1の処理を繰り返す。

【0 2 6 4】

一方、ステップS 6 1において、すべての位置 (x , y) について色相関の条件式が求められたと判定された場合、ステップS 6 2に進み、演算回路2 4は、ステップS 5 2乃至S 5 4, S 5 8, S 6 0で求められたすべての条件式を満たす真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ を演算して、処理に戻る。即ち、演算回路2 4は、ステップS 5 2乃至S 5 4で求められた光量積分条件式と、ステップS 5 8およびS 6 0で求められた色相関の条件式とのすべてを満たす、真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ を演算する。

【0 2 6 5】

以上のように、第1実施の形態における、 $k = 1$ 乃至 N とする式(2 0), (2 1), (2 2)で表される光量積分条件式の他に、R信号とG信号とB信号との間の相関に関する色相関の条件を付加して、それらすべての条件式を満たす真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ を求めることにより、より本来の光に忠実で鮮明な画像を求めることができる。

【0 2 6 6】

なお、上述の場合には、2次元の色空間での色相関の条件式を用いたが、3次元の色空間での条件式を用いることも可能である。

【0 2 6 7】

(第 3 実施の形態)

次に、信号処理回路 7 における、画像推定処理の第 3 実施の形態について説明する。

【0 2 6 8】

第 1 および第 2 実施の形態では、撮像素子 4 の各画素の直上にあるオンチップレンズの特性を正確に定式化（適用）して、真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ を推定し、鮮明な画像を求めた。

【0 2 6 9】

第 3 実施の形態では、オンチップレンズの効果を無視し、撮像素子 4 の各画素で受光されるデータ（受光量）は、その画素の、ある 1 点（例えば、画素の重心）に入射される被写体の光の値（ポイントサンプリングされたデータ）とする。

【0 2 7 0】

また、第 3 実施の形態では、後述するバネモデルを適用した方法を採用する。これにより、第 1 および第 2 の実施の形態で用いた P O C S 法などと比較して、真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ を求める場合の計算量を軽減することができる。第 3 実施の形態においても、従来と較べて、より鮮明な画像を推定することができるという、第 1 および第 2 実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0 2 7 1】

さて、第 3 実施の形態では、上述したように、各画素に受光されるデータをポイントサンプリングされたデータとして考えることとするので、図 3 の撮像素子 4 の各画素のうち、「 i 番目、 j 番目の画素」で受光されるデータは、例えば、「 i 番目、 j 番目の画素」の中央の位置（座標） $(i - 0.5, j - 0.5)$ において受光されたものとする。

【0 2 7 2】

従って、例えば、1 枚目画像の「 i_g 番目、 j_g 番目の画素」で得られるデータとしての画素値 $G o b s(1, i_g, j_g)$ は、1 枚目画像の座標系の位置（

$i_g - 0.5, j_g - 0.5$) において受光される緑色の光量 $L_g(i_g - 0.5, j_g - 0.5)$ である。同様に、1枚目画像の「 i_r 番目、 j_r 番目の画素」で得られるデータとしての画素値 $Robs(1, i_r, j_r)$ は、1枚目画像の座標系の位置 $(i_r - 0.5, j_r - 0.5)$ において受光される赤色の光量 $L_r(i_r - 0.5, j_r - 0.5)$ であり、1枚目画像の「 i_b 番目、 j_b 番目の画素」で得られるデータとしての画素値 $Obs(1, i_b, j_b)$ は、1枚目画像の座標系の位置 $(i_b - 0.5, j_b - 0.5)$ において受光される青色の光量 $L_b(i_b - 0.5, j_b - 0.5)$ である。

【0273】

図13は、フレームメモリ22-1に記憶されている1枚目画像を示している。

【0274】

図13において、緑色の成分を受光する画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ については、黒丸で示される位置に、画素値 $Gobs(1, i_g, j_g)$ が観測される。赤色の成分を受光する画素 $R(j_r - 1)(i_r - 1)$ については、黒四角で示される位置に、画素値 $Obs(1, i_r, j_r)$ が観測される。青色の成分を受光する画素 $B(j_b - 1)(i_b - 1)$ については、黒三角で示される位置に、画素値 $Obs(1, i_b, j_b)$ が観測される。以上のように、1枚目画像の画素値は、1枚目画像の座標系上の各画素の中央部（重心）、即ち、 i 番目、 j 番目の画素では $(i - 0.5, j - 0.5)$ の位置において観測される。

【0275】

図14は、フレームメモリ22-2に記憶されている2枚目画像を示している。

【0276】

図14において、緑色の成分を受光する画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ については、黒丸で示される位置に、画素値 $Gobs(2, i_g, j_g)$ が観測される。赤色の成分を受光する画素 $R(j_r - 1)(i_r - 1)$ については、黒四角で示される位置に、画素値 $Obs(2, i_r, j_r)$ が観測される。青色の成分を受光する画素 $B(j_b - 1)(i_b - 1)$ については、黒三角で示される位

置に、画素値 $B o b s (2, i b, j b)$ が観測される。以上のように、2 枚目画像の画素値は、2 枚目画像の座標系上の各画素の中央部（重心）、即ち、 i 番目、 j 番目の画素では $(i - 0.5, j - 0.5)$ の位置において観測される。

【0 2 7 7】

2 枚目画像上の点を、第 1 および第 2 実施の形態と同様に、1 枚目画像の座標系を基準として考える。2 枚目画像上の点は、動き検出回路 2 3 - 1 により検出された変換パラメータ $(\theta 2, T 2 x, T 2 y, S 2)$ を用いて 1 枚目画像の座標系上の点に変換することができる。

【0 2 7 8】

図 1 4 には、その 1 枚目画像の座標系に変換された 2 枚目画像上の点の画素値 $G o b s (2, i g, j g)$ 、画素値 $R o b s (2, i r, j r)$ 、画素値 $B o b s (2, i b, j b)$ も示されている。

【0 2 7 9】

即ち、2 枚目画像の座標系の画素 $G (j g - 1) (i g - 1)$ の画素値 $G o b s (2, i g, j g)$ は、2 枚目画像の座標系上の位置 $(i g - 0.5, j g - 0.5)$ を動き検出回路 2 3 - 1 により検出された変換パラメータ $(\theta 2, T 2 x, T 2 y, S 2)$ により変換した 1 枚目画像の座標系上の位置 $((i g - 0.5) (2), (j g - 0.5) (2))$ で観測される緑色の光量 $L g (x, y)$ である。図 1 4 では、画素値 $G o b s (2, i g, j g)$ が観測される 1 枚目画像の座標系上の位置 $((i g - 0.5) (2), (j g - 0.5) (2))$ が、白丸で示されている。

【0 2 8 0】

また、2 枚目画像の座標系の画素 $R (j r - 1) (i r - 1)$ の画素値 $R o b s (2, i r, j r)$ は、2 枚目画像の座標系上の位置 $(i r - 0.5, j r - 0.5)$ を動き検出回路 2 3 - 1 により検出された変換パラメータ $(\theta 2, T 2 x, T 2 y, S 2)$ により変換した 1 枚目画像の座標系上の位置 $((i r - 0.5) (2), (j r - 0.5) (2))$ で観測される赤色の光量 $L r (x, y)$ である。図 1 4 では、画素値 $R o b s (2, i r, j r)$ が観測される 1 枚目画像の座標系上の位置 $((i r - 0.5) (2), (j r - 0.5) (2))$ が、白四角で示さ

れている。

【0281】

さらに、2枚目画像の座標系の画素 $B(j_b-1)(i_b-1)$ の画素値 $Bobs(2, i_b, j_b)$ は、2枚目画像の座標系上の位置 $(i_b-0.5, j_b-0.5)$ を動き検出回路23-1により検出された変換パラメータ $(\theta_2, T_{2x}, T_{2y}, S_2)$ により変換した1枚目画像の座標系上の位置 $((i_b-0.5)(2), (j_b-0.5)(2))$ で観測される青色の光量 $L_b(x, y)$ である。図14では、画素値 $Bobs(2, i_b, j_b)$ が観測される1枚目画像の座標系上の位置 $((i_b-0.5)(2), (j_b-0.5)(2))$ が、白三角で示されている。

【0282】

図15は、フレームメモリ22-3に記憶されている3枚目画像を示している。

【0283】

図15において、緑色の成分を受光する画素 $G(j_g-1)(i_g-1)$ については、黒丸で示される位置に、画素値 $Gobs(3, i_g, j_g)$ が観測される。赤色の成分を受光する画素 $R(j_r-1)(i_r-1)$ については、黒四角で示される位置に、画素値 $Robs(3, i_r, j_r)$ が観測される。青色の成分を受光する画素 $B(j_b-1)(i_b-1)$ については、黒三角で示される位置に、画素値 $Bobs(3, i_b, j_b)$ が観測される。以上のように、3枚目画像の画素値は、3枚目画像の座標系上の各画素の中央部(重心)、即ち、 i 番目、 j 番目の画素では $(i-0.5, j-0.5)$ の位置において観測される。

【0284】

3枚目画像上の点を、第1および第2実施の形態と同様に、1枚目画像の座標系を基準として考える。3枚目画像上の点は、動き検出回路23-2により検出された変換パラメータ $(\theta_3, T_{3x}, T_{3y}, S_3)$ を用いて1枚目画像の座標系上の点に変換することができる。

【0285】

図15には、その1枚目画像の座標系に変換された3枚目画像上の点の画素値

$G o b s (3, i g, j g)$ 、画素値 $R o b s (3, i r, j r)$ 、画素値 $B o b s (3, i b, j b)$ も示されている。

【0286】

即ち、3枚目画像の座標系の画素 $G (j g - 1) (i g - 1)$ の画素値 $G o b s (3, i g, j g)$ は、3枚目画像の座標系上の位置 $(i g - 0.5, j g - 0.5)$ を動き検出回路 23-2 により検出された変換パラメータ $(\theta 3, T 3 x, T 3 y, S 3)$ により変換した1枚目画像の座標系上の位置 $((i g - 0.5) (3), (j g - 0.5) (3))$ で観測される緑色の光量 $L g (x, y)$ である。図15では、画素値 $G o b s (3, i g, j g)$ が観測される1枚目画像の座標系上の位置 $((i g - 0.5) (3), (j g - 0.5) (3))$ が、白丸で示されている。

【0287】

また、3枚目画像の座標系の画素 $R (j r - 1) (i r - 1)$ の画素値 $R o b s (3, i r, j r)$ は、3枚目画像の座標系上の位置 $(i r - 0.5, j r - 0.5)$ を動き検出回路 23-2 により検出された変換パラメータ $(\theta 3, T 3 x, T 3 y, S 3)$ により変換した1枚目画像の座標系上の位置 $((i r - 0.5) (3), (j r - 0.5) (3))$ で観測される赤色の光量 $L r (x, y)$ である。図15では、画素値 $R o b s (3, i r, j r)$ が観測される1枚目画像の座標系上の位置 $((i r - 0.5) (3), (j r - 0.5) (3))$ が、白四角で示されている。

【0288】

さらに、3枚目画像の座標系の画素 $B (j b - 1) (i b - 1)$ の画素値 $B o b s (3, i b, j b)$ は、3枚目画像の座標系上の位置 $(i b - 0.5, j b - 0.5)$ を動き検出回路 23-2 により検出された変換パラメータ $(\theta 3, T 3 x, T 3 y, S 3)$ により変換した1枚目画像の座標系上の位置 $((i b - 0.5) (3), (j b - 0.5) (3))$ で観測される青色の光量 $L b (x, y)$ である。図15では、画素値 $B o b s (3, i b, j b)$ が観測される1枚目画像の座標系上の位置 $((i b - 0.5) (3), (j b - 0.5) (3))$ が、白三角で示されている。

【0289】

図16は、1乃至N枚目の撮像画像の画素のうちの緑色の成分を受光する所定の画素 $G(jg-1)(ig-1)$ の画素値 $Gobs(1, ig, jg)$ 乃至 $Gobs(N, ig, jg)$ が観測される1枚目画像の座標系上の位置を示している。

【0290】

図16では、1枚目画像の座標系上の ig 番目、 jg 番目の画素 $G(jg-1)(ig-1)$ の中心位置において1枚目画像の画素値 $Gobs(1, ig, jg)$ が観測されている。また、画素 $G(jg-1)(ig-1)$ の画素中心の左上側に、位置が1枚目画像の座標系上に変換された2枚目画像の画素値 $Gobs(2, ig, jg)$ が観測されている。さらに、画素 $G(jg-1)(ig-1)$ の画素中心の左下側に、位置が1枚目画像の座標系上に変換された3枚目画像の画素値 $Gobs(3, ig, jg)$ が観測されている。また、画素 $G(jg-1)(ig-1)$ の画素中心の右上側に、位置が1枚目画像の座標系上に変換された4枚目画像の画素値 $Gobs(4, ig, jg)$ が観測されている。なお、5乃至N枚目画像の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ ($k=5$ 乃至 N)の図示は、省略されている。

【0291】

第3実施の形態では、演算回路24は、1乃至N枚目画像の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ ($k=1$ 乃至 N)に基づいて、1枚目画像の座標系上の位置($ig-0.5, jg-0.5$)の真の緑色の光量 $Lg(ig-0.5, jg-0.5)$ を求める。

【0292】

ここで、基準画像である1枚目画像の座標系上において、 i 番目、 j 番目の画素の、画素中心($i-0.5, j-0.5$)を(I', J')と表すことにする。即ち、 $I'=i-0.5$ 、 $J'=j-0.5$ とする。従って、求めるべき真の緑色の光量 $Lg(I', J')$ は、緑色の成分を受光する画素の中心位置($ig-0.5, jg-0.5$)を用いた $Lg(ig-0.5, jg-0.5)$ で表すことができる。同様に、求めるべき真の赤色の光量 $Lr(I', J')$ は、赤色

の成分を受光する画素の中心位置 $(i_r - 0.5, j_r - 0.5)$ を用いた L_r $(i_r - 0.5, j_r - 0.5)$ で表すことができ、求めるべき真の青色の光量 $L_b(I', J')$ は、青色の成分を受光する画素の中心位置 $(i_b - 0.5, j_b - 0.5)$ を用いた $L_b(i_b - 0.5, j_b - 0.5)$ で表すことができる。

【0293】

図17は、演算回路24が、鮮明な画像の画像信号として求めるべき真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、真の青色の光量 $L_b(I', J')$ の位置を1枚目画像の座標系上に示したものである。

【0294】

即ち、図17では、1枚目画像の座標系上の撮像素子4の各画素の中心位置 (I', J') が、真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、真の青色の光量 $L_b(I', J')$ を求めるべき位置として黒丸で示されている。

【0295】

図18乃至図23を参照し、緑色の成分を受光する画素に注目して、バネモデルについて説明する。図18以降においては、求めるべき真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ の1枚目画像の座標系上の位置 (I', J') を黒丸で、画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ 、 $R_{obs}(k, i_r, j_r)$ 、 $B_{obs}(k, i_b, j_b)$ ($k=1$ 乃至 N) が観測された1枚目画像の座標系上の位置を白丸で表すものとする。また、以下、適宜、基準画像である1枚目画像の座標系を基準座標系という。

【0296】

図18の点Aの位置 (x, y) は、 k 枚目画像の i_g 番目、 j_g 番目の画素の画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ が観測された位置 $(i_g - 0.5, j_g - 0.5)$ を、動き検出回路23-($k-1$)により検出された変換パラメータ $(\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k)$ で変換した基準座標系上の位置 $((i_g - 0.5)(k), (j_g - 0.5)(k))$ を表している。 $k=1$ の場合は、 $(\theta_k, T_{kx},$

$T(k, y, S(k)) = (0, 0, 0, 1)$ とみなすことができるので、 $(x, y) = (ig - 0.5, jg - 0.5)$ となる。なお、点A (x, y) の画素値は、 $Gobs(k, ig, jg)$ である。

【0297】

ここで、点A (x, y) に対して、 $I - 0.5 \leq x < I + 0.5$, $J - 0.5 \leq y < J + 0.5$ を満たす整数 I, J を考えることにする。このときの $(I \pm 0.5, J \pm 0.5)$ で囲まれる領域の四隅の各位置、即ち、 $(I - 0.5, J - 0.5)$, $(I - 0.5, J + 0.5)$, $(I + 0.5, J - 0.5)$, $(I + 0.5, J + 0.5)$ の位置は、真の緑色の光量 $Lg(I', J')$ を求める各位置 (I', J') となる。

【0298】

いま、点A (x, y) における画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ は、点A (x, y) に近い $(I - 0.5, J - 0.5)$, $(I - 0.5, J + 0.5)$, $(I + 0.5, J - 0.5)$, $(I + 0.5, J + 0.5)$ の位置それぞれにおける真の緑色の光量 $Lg(I - 0.5, J - 0.5)$, $Lg(I - 0.5, J + 0.5)$, $Lg(I + 0.5, J - 0.5)$, $Lg(I + 0.5, J + 0.5)$ それぞれとほぼ等しいとみなすことができる。即ち、真の緑色の光量 $Lg(I - 0.5, J - 0.5)$, $Lg(I - 0.5, J + 0.5)$, $Lg(I + 0.5, J - 0.5)$, $Lg(I + 0.5, J + 0.5)$ は、点A (x, y) における画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ で近似することができる。

【0299】

ところで、点A (x, y) で観測された画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ には、第1および第2実施の形態で説明したように、誤差（ノイズ量） $M_k \times E$ が含まれる。さらに、ここでは、 $(I - 0.5, J - 0.5)$, $(I - 0.5, J + 0.5)$, $(I + 0.5, J - 0.5)$, $(I + 0.5, J + 0.5)$ の位置それぞれにおける真の緑色の光量 $Lg(I - 0.5, J - 0.5)$, $Lg(I - 0.5, J + 0.5)$, $Lg(I + 0.5, J - 0.5)$, $Lg(I + 0.5, J + 0.5)$ を、点A (x, y) における画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ で近似したことによる誤差（以下、適宜、近似誤差と称する）が生ずる。

【0300】

ここで、例えば、位置 $(I-0.5, J-0.5)$ における真の緑色の光量 $L_g(I-0.5, J-0.5)$ を点 $A(x, y)$ における画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ で近似することは、バネを用いたモデルであるバネモデルに当てはめることができる。

【0301】

図19は、点 $A(x, y)$ における画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ で位置 $(I-0.5, J-0.5)$ における真の緑色の光量 $L_g(I-0.5, J-0.5)$ を近似した状態を表すバネモデルの概念的な図である。

【0302】

図19では、画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ と真の緑色の光量 $L_g(I-0.5, J-0.5)$ とが、バネ $BA1$ の一端と他端とにそれぞれ接続され、画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ 側に、真の緑色の光量 $L_g(I-0.5, J-0.5)$ が引っ張られるようとしている状態を示している。図19のバネモデルでは、真の緑色の光量 $L_g(I-0.5, J-0.5)$ が、点 $A(x, y)$ の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ であることが確からしいほど、真の緑色の光量 $L_g(I-0.5, J-0.5)$ が画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ 側に引き寄せられ、逆に、その確からしさの程度が低いほど、真の緑色の光量 $L_g(I-0.5, J-0.5)$ が、画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ から遠ざかる。

【0303】

ここで、画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ で、真の緑色の光量 $L_g(I-0.5, J-0.5)$ を近似したことによる近似誤差は、点 $A(x, y)$ と位置 $(I-0.5, J-0.5)$ との間の距離が長くなるほど大きくなる。そこで、点 (x_1, y_1) と点 (x_2, y_2) との距離が大となると関数値が増加する増加関数 $F((x_1, y_1), (x_2, y_2))$ を導入する。関数 $F((x_1, y_1), (x_2, y_2))$ としては、例えば、

$$F((x_1, y_1), (x_2, y_2)) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

などを採用することができる。

【0304】

また、上述したように、点A (x, y) で観測された画素値G o b s (k, i g, j g) には、誤差としてのノイズ量E×M_kが含まれる。

【0305】

画素値G o b s (k, i g, j g) と真の緑色の光量L_g (I-0.5, J-0.5) とが等価 (同一) であることの確からしさ、即ち、真の緑色の光量L_g (I-0.5, J-0.5) を画素値G o b s (k, i g, j g) で近似したときの近似精度は、上述の近似誤差とノイズ量E×M_kの増加または減少に応じて、それぞれ減少または増加する。従って、近似精度 (確からしさ) は、例えば、

$$M_k \times E \times F((x, y), (I-0.5, J-0.5))$$

の値に対して減少する (反比例する)。即ち、真の緑色の光量L_g (I-0.5, J-0.5) が、点A (x, y) の画素値G o b s (k, i g, j g) に等しいことの確からしさは、「 $M_k \times E \times F((x, y), (I-0.5, J-0.5))$ 」の値が小さければ、大であり、また「 $M_k \times E \times F((x, y), (I-0.5, J-0.5))$ 」の値が大きければ、小であるといえる。

【0306】

いま、この画素値G o b s (k, i g, j g) と真の緑色の光量L_g (I-0.5, J-0.5) が等価であることの確からしさをバネBA1のバネ定数 (バネの強さ) で表すことにすると、バネ定数は、例えば、式

$$\{\sqrt{2} - F((x, y), (I-0.5, J-0.5))\} / (M_k \times E)$$

で表すことができる。ここで、分母の (M_k×E) は、ノイズ量EのM_k倍であり、ノイズが大となるほどバネBA1は弱くなって、真の緑色の光量L_g (I-0.5, J-0.5) が、バネBA1によって点Aの画素値G o b s (k, i g, j g) 側へ引っ張られる力は小さくなる。分子の $\{\sqrt{2} - F((x, y), (I-0.5, J-0.5))\}$ は、図18の (I±0.5, J±0.5) で囲まれる領域内の任意の2点の距離の最大値である $\sqrt{(1^2+1^2)} = \sqrt{2}$ から、点Aと (I-0.5, J-0.5) との距離F((x, y), (I-0.5, J-0.5)) を引いた値 (差分) であり、画素値G o b s (k, i g, j g) が観測された位置A (x, y) と真の緑色の光量L_g (I-0.5, J-0.5) を求

める位置 $(I-0.5, J-0.5)$ との距離が大きくなるほど、 $\sqrt{2}$ -距離 $F((x, y), (I-0.5, J-0.5))$ は小さくなって、バネ $BA1$ は弱くなる。従って、真の緑色の光量 $L_g(I-0.5, J-0.5)$ が、バネ $BA1$ によって点 A の画素値 $Gobs(k, i_g, j_g)$ 側へ引っ張られる力は小さくなる。なお、 $\{\sqrt{2}\text{-距離 } F((x, y), (I-0.5, J-0.5))\}$ の代わりに、距離 $F((x, y), (I-0.5, J-0.5))$ の逆数などを用いることもできる。

【0307】

なお、バネモデルにおいて、バネ $BA1$ は、自然長（無負荷の状態でのバネ $BA1$ の長さ）が 0 のバネであるとする。この場合、バネ $BA1$ の長さ（伸び）は、光量（画素値）の軸方向を距離として、

$$|Gobs(k, i_g, j_g) - L_g(I-0.5, J-0.5)|$$

と表すことができ、真の緑色の光量 $L_g(I-0.5, J-0.5)$ が、バネ $BA1$ によって点 $A(x, y)$ の画素値 $Gobs(k, i_g, j_g)$ 側に引っ張られる力は、バネ定数 \times バネの長さ $= \{\sqrt{2}\text{-}F((x, y), (I-0.5, J-0.5))\} / (Mk \times E) \times |Gobs(k, i_g, j_g) - L_g(I-0.5, J-0.5)|$ と表すことができる。

【0308】

図 20 は、点 $A(x, y)$ における画素値 $Gobs(k, i_g, j_g)$ と、 $(I-0.5, J-0.5)$, $(I-0.5, J+0.5)$, $(I+0.5, J-0.5)$, $(I+0.5, J+0.5)$ の位置における真の緑色の光量 $L_g(I-0.5, J-0.5)$, $L_g(I-0.5, J+0.5)$, $L_g(I+0.5, J-0.5)$, $L_g(I+0.5, J+0.5)$ それぞれとの関係を表すバネモデルを概念的に表した図である。

【0309】

図 19 で説明した点 $A(x, y)$ における画素値 $Gobs(k, i_g, j_g)$ と、真の緑色の光量 $L_g(I-0.5, J-0.5)$ との関係を表すバネモデルと同様に、真の緑色の光量 $L_g(I-0.5, J+0.5)$, $L_g(I+0.5, J-0.5)$, $L_g(I+0.5, J+0.5)$ それぞれについても、点 A (

x, y) における画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の関係を、バネモデルで表すことができる。

【0310】

即ち、画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ と真の緑色の光量 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ とが、バネ $BA2$ の一端と他端とにそれぞれ接続され、画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ 側に、真の緑色の光量 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ が引っ張られようとしている状態を示している。図20のバネモデルでは、真の緑色の光量 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ が、点 $A(x, y)$ の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ であることが確からしいほど、真の緑色の光量 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ が画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ 側に引き寄せられ、逆に、その確からしさの程度が低いほど、真の緑色の光量 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ が、画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ から遠ざかる。

【0311】

ここで、画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ で、真の緑色の光量 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ を近似したことによる近似誤差は、点 $A(x, y)$ と位置 $(I-0.5, J+0.5)$ との間の距離が長くなるほど大きくなる。そこで、点 $(x1, y1)$ と点 $(x2, y2)$ との距離が大となると関数値が増加する増加関数 $F((x1, y1), (x2, y2))$ を導入する。関数 $F((x1, y1), (x2, y2))$ としては、例えば、

$$F((x1, y1), (x2, y2)) = \sqrt{\{(x1 - x2)^2 + (y1 - y2)^2\}}$$

などを採用することができる。

【0312】

また、上述したように、点 $A(x, y)$ で観測された画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ には、誤差としてのノイズ量 $E \times Mk$ が含まれる。

【0313】

画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ と真の緑色の光量 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ とが等価(同一)であることの確からしさ、即ち、真の緑色の光量 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ を画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ で近似したと

きの近似精度は、上述の近似誤差とノイズ量 $E \times M_k$ の増加または減少に応じて、それぞれ減少または増加する。従って、近似精度（確からしさ）は、例えば、

$$M_k \times E \times F((x, y), (I - 0.5, J + 0.5))$$

の値に対して減少する（反比例する）。即ち、真の緑色の光量 $L_g(I - 0.5, J + 0.5)$ が、点 A (x, y) の画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ に等しいことの確からしさは、「 $M_k \times E \times F((x, y), (I - 0.5, J + 0.5))$ 」の値が小さければ、大であり、また「 $M_k \times E \times F((x, y), (I - 0.5, J + 0.5))$ 」の値が大きければ、小であるといえる。

【0314】

いま、この画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ と真の緑色の光量 $L_g(I - 0.5, J + 0.5)$ が等価であることの確からしさをバネ BA2 のバネ定数（バネの強さ）で表すことにすると、バネ定数は、例えば、式

$$\{\sqrt{2} - F((x, y), (I - 0.5, J + 0.5))\} / (M_k \times E)$$

で表すことができる。ここで、分母の $(M_k \times E)$ は、ノイズ量 E の M_k 倍であり、ノイズが大となるほどバネ BA2 は弱くなって、真の緑色の光量 $L_g(I - 0.5, J + 0.5)$ が、バネ BA2 によって点 A の画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ 側へ引っ張られる力は小さくなる。分子の $\{\sqrt{2} - F((x, y), (I - 0.5, J + 0.5))\}$ は、図 18 の $(I \pm 0.5, J \pm 0.5)$ で囲まれる領域内の任意の 2 点の距離の最大値である $\sqrt{(1^2 + 1^2)} = \sqrt{2}$ から、点 A と $(I - 0.5, J + 0.5)$ との距離 $F((x, y), (I - 0.5, J + 0.5))$ を引いた値（差分）であり、画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ が観測された位置 A (x, y) と真の緑色の光量 $L_g(I - 0.5, J + 0.5)$ を求める位置 $(I - 0.5, J + 0.5)$ との距離が大きくなるほど、 $\sqrt{2} -$ 距離 $F((x, y), (I - 0.5, J + 0.5))$ は小さくなって、バネ BA2 は弱くなる。従って、真の緑色の光量 $L_g(I - 0.5, J + 0.5)$ が、バネ BA2 によって点 A の画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ 側へ引っ張られる力は小さくなる。なお、 $\{\sqrt{2} - \text{距離 } F((x, y), (I - 0.5, J + 0.5))\}$ の代わりに、距離 $F((x, y), (I - 0.5, J + 0.5))$ の逆数などを用いることもできる。

【0315】

なお、バネモデルにおいて、バネBA2は、自然長（無負荷の状態でのバネBA2の長さ）が0のバネであるとする。この場合、バネBA2の長さ（伸び）は、光量（画素値）の軸方向を距離として、

$$|Gobs(k, ig, jg) - Lg(I - 0.5, J + 0.5)|$$

と表すことができ、真の緑色の光量 $Lg(I - 0.5, J + 0.5)$ が、バネBA2によって点A(x, y)の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ 側に引っ張られる力は、バネ定数×バネの長さ = $\{ \sqrt{2} - F((x, y), (I - 0.5, J + 0.5)) \} / (Mk \times E) \} \times |Gobs(k, ig, jg) - Lg(I - 0.5, J + 0.5)|$ と表すことができる。

【0316】

また、画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ と真の緑色の光量 $Lg(I + 0.5, J - 0.5)$ とが、バネBA3の一端と他端とにそれぞれ接続され、画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ 側に、真の緑色の光量 $Lg(I + 0.5, J - 0.5)$ が引っ張られるようとしている状態を示している。図20のバネモデルでは、真の緑色の光量 $Lg(I + 0.5, J - 0.5)$ が、点A(x, y)の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ であることが確からしいほど、真の緑色の光量 $Lg(I + 0.5, J - 0.5)$ が画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ 側に引き寄せられ、逆に、その確からしさの程度が低いほど、真の緑色の光量 $Lg(I + 0.5, J - 0.5)$ が、画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ から遠ざかる。

【0317】

ここで、画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ で、真の緑色の光量 $Lg(I + 0.5, J - 0.5)$ を近似したことによる近似誤差は、点A(x, y)と位置 $(I + 0.5, J - 0.5)$ との間の距離が長くなるほど大きくなる。そこで、点 $(x1, y1)$ と点 $(x2, y2)$ との距離が大となると関数値が増加する増加関数 $F((x1, y1), (x2, y2))$ を導入する。関数 $F((x1, y1), (x2, y2))$ としては、例えば、

$$F((x1, y1), (x2, y2)) = \sqrt{\{(x1 - x2)^2 + (y1 - y2)^2\}}$$

などを採用することができる。

【0318】

また、上述したように、点A (x, y) で観測された画素値G o b s (k, i g, j g) には、誤差としてのノイズ量 $E \times M_k$ が含まれる。

【0319】

画素値G o b s (k, i g, j g) と真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J-0.5)$ とが等価(同一)であることの確からしさ、即ち、真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J-0.5)$ を画素値G o b s (k, i g, j g) で近似したときの近似精度は、上述の近似誤差とノイズ量 $E \times M_k$ の増加または減少に応じて、それぞれ減少または増加する。従って、近似精度(確からしさ)は、例えば、

$$M_k \times E \times F((x, y), (I+0.5, J-0.5))$$

の値に対して減少する(反比例する)。即ち、真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J-0.5)$ が、点A (x, y) の画素値G o b s (k, i g, j g) に等しいことの確からしさは、「 $M_k \times E \times F((x, y), (I+0.5, J-0.5))$ 」の値が小さければ、大であり、また「 $M_k \times E \times F((x, y), (I+0.5, J-0.5))$ 」の値が大きければ、小であるといえる。

【0320】

いま、この画素値G o b s (k, i g, j g) と真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J-0.5)$ が等価であることの確からしさをバネBA3のバネ定数(バネの強さ)で表すことにすると、バネ定数は、例えば、式

$$\{\sqrt{2-F((x, y), (I+0.5, J-0.5))}\} / (M_k \times E)$$

で表すことができる。ここで、分母の $(M_k \times E)$ は、ノイズ量Eの M_k 倍であり、ノイズが大となるほどバネBA3は弱くなって、真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J-0.5)$ が、バネBA3によって点Aの画素値G o b s (k, i g, j g) 側へ引っ張られる力は小さくなる。分子の $\{\sqrt{2-F((x, y), (I+0.5, J-0.5))}\}$ は、図18の $(I \pm 0.5, J \pm 0.5)$ で囲まれる領域内の任意の2点の距離の最大値である $\sqrt{(1^2+1^2)} = \sqrt{2}$ から、点Aと $(I+0.5, J-0.5)$ との距離 $F((x, y), (I+0.5, J-0.5))$ を引いた値(差分)であり、画素値G o b s (k, i g, j g) が観測

された位置A (x, y) と真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J-0.5)$ を求める位置 $(I+0.5, J-0.5)$ との距離が大きくなるほど、 $\sqrt{2}$ -距離 $F((x, y), (I+0.5, J-0.5))$ は小さくなって、バネBA3は弱くなる。従って、真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J-0.5)$ が、バネBA3によって点Aの画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ 側へ引っ張られる力は小さくなる。なお、 $\{\sqrt{2}\text{-距離} F((x, y), (I+0.5, J-0.5))\}$ の代わりに、距離 $F((x, y), (I+0.5, J-0.5))$ の逆数などを用いることもできる。

【0321】

なお、バネモデルにおいて、バネBA3は、自然長（無負荷の状態でのバネBA3の長さ）が0のバネであるとする。この場合、バネBA3の長さ（伸び）は、光量（画素値）の軸方向を距離として、

$|G_{obs}(k, i_g, j_g) - L_g(I+0.5, J-0.5)|$ と表すことができ、真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J-0.5)$ が、バネBA3によって点A (x, y) の画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ 側に引っ張られる力は、バネ定数×バネの長さ = $\{\sqrt{2}\text{-}F((x, y), (I+0.5, J-0.5))\} / (M_k \times E) \times |G_{obs}(k, i_g, j_g) - L_g(I+0.5, J-0.5)|$ と表すことができる。

【0322】

さらに、画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ と真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J+0.5)$ とが、バネBA4の一端と他端とにそれぞれ接続され、画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ 側に、真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J+0.5)$ が引っ張られるようとしている状態を示している。図20のバネモデルでは、真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J+0.5)$ が、点A (x, y) の画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ であることが確からしいほど、真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J+0.5)$ が画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ 側に引き寄せられ、逆に、その確からしさの程度が低いほど、真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J+0.5)$ が、画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ から遠ざかる。

【0323】

ここで、画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ で、真の緑色の光量 $L g (I + 0.5, J + 0.5)$ を近似したことによる近似誤差は、点 $A (x, y)$ と位置 $(I + 0.5, J + 0.5)$ との間の距離が長くなるほど大きくなる。そこで、点 (x_1, y_1) と点 (x_2, y_2) との距離が大となると関数値が増加する増加関数 $F ((x_1, y_1), (x_2, y_2))$ を導入する。関数 $F ((x_1, y_1), (x_2, y_2))$ としては、例えば、

$$F ((x_1, y_1), (x_2, y_2)) = \sqrt{\{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2\}}$$

などを採用することができる。

【0324】

また、上述したように、点 $A (x, y)$ で観測された画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ には、誤差としてのノイズ量 $E \times M k$ が含まれる。

【0325】

画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ と真の緑色の光量 $L g (I + 0.5, J + 0.5)$ とが等価（同一）であることの確からしさ、即ち、真の緑色の光量 $L g (I + 0.5, J + 0.5)$ を画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ で近似したときの近似精度は、上述の近似誤差とノイズ量 $E \times M k$ の増加または減少に応じて、それぞれ減少または増加する。従って、近似精度（確からしさ）は、例えば、

$$M k \times E \times F ((x, y), (I + 0.5, J + 0.5))$$

の値に対して減少する（反比例する）。即ち、真の緑色の光量 $L g (I + 0.5, J + 0.5)$ が、点 $A (x, y)$ の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ に等しいことの確からしさは、「 $M k \times E \times F ((x, y), (I + 0.5, J + 0.5))$ 」の値が小さければ、大であり、また「 $M k \times E \times F ((x, y), (I + 0.5, J + 0.5))$ 」の値が大きければ、小であるといえる。

【0326】

いま、この画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ と真の緑色の光量 $L g (I + 0.5, J + 0.5)$ が等価であることの確からしさをバネ $B A 4$ のバネ定数（バネの強さ）で表すことにすると、バネ定数は、例えば、式

$$\{ \sqrt{2 - F ((x, y), (I + 0.5, J + 0.5))} \} / (M k \times E)$$

で表すことができる。ここで、分母の $(M_k \times E)$ は、ノイズ量 E の M_k 倍であり、ノイズが大となるほどバネ $BA4$ は弱くなって、真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J+0.5)$ が、バネ $BA4$ によって点 A の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ 側へ引っ張られる力は小さくなる。分子の $\{\sqrt{2}-F((x, y), (I+0.5, J+0.5))\}$ は、図18の $(I \pm 0.5, J \pm 0.5)$ で囲まれる領域内の任意の2点の距離の最大値である $\sqrt{1^2+1^2}=\sqrt{2}$ から、点 A と $(I+0.5, J+0.5)$ との距離 $F((x, y), (I+0.5, J+0.5))$ を引いた値(差分)であり、画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ が観測された位置 $A(x, y)$ と真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J+0.5)$ を求める位置 $(I+0.5, J+0.5)$ との距離が大きくなるほど、 $\sqrt{2}$ -距離 $F((x, y), (I+0.5, J+0.5))$ は小さくなって、バネ $BA4$ は弱くなる。従って、真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J+0.5)$ が、バネ $BA4$ によって点 A の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ 側へ引っ張られる力は小さくなる。なお、 $\{\sqrt{2}-距離F((x, y), (I+0.5, J+0.5))\}$ の代わりに、距離 $F((x, y), (I+0.5, J+0.5))$ の逆数などを用いることもできる。

【0327】

なお、バネモデルにおいて、バネ $BA4$ は、自然長(無負荷の状態でのバネ $BA4$ の長さ)が0のバネであるとする。この場合、バネ $BA4$ の長さ(伸び)は、光量(画素値)の軸方向を距離として、

$$|Gobs(k, ig, jg) - L_g(I+0.5, J+0.5)|$$

と表すことができ、真の緑色の光量 $L_g(I+0.5, J+0.5)$ が、バネ $BA4$ によって点 $A(x, y)$ の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ 側に引っ張られる力は、バネ定数 \times バネの長さ $= \{\sqrt{2}-F((x, y), (I+0.5, J+0.5))\} / (M_k \times E) \times |Gobs(k, ig, jg) - L_g(I+0.5, J+0.5)|$ と表すことができる。

【0328】

以上では、基準座標系上の任意の位置 $A(x, y)$ における画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ に注目して、その位置 $A(x, y)$ の周辺、即ち、式 $I-0$ 。

$5 \leq x < I + 0.5$ と式 $J - 0.5 \leq y < J + 0.5$ を満たす整数 I, J で表される任意の真の緑色の光量 $L_g(I - 0.5, J - 0.5)$, $L_g(I - 0.5, J + 0.5)$, $L_g(I + 0.5, J - 0.5)$, $L_g(I + 0.5, J + 0.5)$ との関係をも、バネモデルで表したが、今度は、基準座標系上の画素中心となる位置 (I', J') に注目して、その位置 (I', J') の真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ と、その周辺で観測される画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ との関係をもバネモデルで表すことにする。

【0329】

位置 (I', J') の I', J' は、上述したように、小数点以下が 0.5 となる各画素の中心位置であるから、例えば、図20において黒丸で示される $(I - 0.5, J - 0.5)$ 等が、位置 (I', J') に相当する。

【0330】

図20に示したように、点 $A(x, y)$ については、その周辺の4つの真の緑色の光量 $L_g(I - 0.5, J - 0.5)$, $L_g(I - 0.5, J + 0.5)$, $L_g(I + 0.5, J - 0.5)$, $L_g(I + 0.5, J + 0.5)$ との間に、バネモデルを定義することができる。さらに、点 $A(x, y)$ 以外の1乃至 N 枚目の撮像画像の各画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ が観測される点についても、それぞれ同様に、4つのバネモデルを定義することができる。従って、位置 (I', J') に注目すると、図21に示すように、位置 (I', J') の真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ に対して、その周辺にある、例えば、点 A 乃至点 E それぞれで観測される画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ とのバネモデルが定義されることになる。

【0331】

即ち、ある位置 (I', J') に対して、位置 $(ig - 0.5, jg - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta_k, Tk_x, Tk_y, Sk)$ で変換した基準座標系上の位置 (x, y) が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1$, $J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす整数 k, ig, jg の組をすべて求める。例えば、いま、図21に示すように、位置 (I', J') に対して、点 A 乃至点 E で観測された5つの画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ を特定する (k, ig, jg) の組が得られたとする。

【0332】

この場合、図22に示すように、点A乃至点Eで観測された5つの画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ それぞれと、位置 (I', J') の真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ との関係を表すバネモデルを定義することができる。即ち、真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ を求めるべき位置 (I', J') について、その真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ と、観測された画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ との関係を、バネモデルで表すことができる。

【0333】

図23は、位置 (I', J') に注目したバネモデルによって、その位置 (I', J') の真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ を推定する推定方法を説明する図である。なお、図23における軸は、緑色の光量 (G信号) を表す。

【0334】

図23では、質量が0の物体Vが、5つのバネそれぞれの一端に繋がっており、5つのバネの他端は、点A乃至点Eの5つの画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ それぞれに接続されている。即ち、点A乃至点Eの5つの画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ は、図22のある位置 (I', J') に対して、位置 $(i_g - 0.5, j_g - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k)$ で変換した基準座標系上の位置 (x, y) が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1, J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす (k, i_g, j_g) の組に対応する画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ である。

【0335】

また、この5つのバネの自然長は0で、点 (x, y) で観測される画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ に他端が接続されているバネのバネ定数は、上述したように、

$$\{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))\} / (M_k \times E)$$

である。

【0336】

上述の5つのバネそれぞれは、そのバネ定数に比例する力で、5つの画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ 側に物体Vを引っ張り合っており、ある位置でつり合

うこととなる。その位置を表す光量が、位置 (I', J') の真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ として推定される。このバネのつり合いは、物体Vにかかる力の総和が0であることを表す次式によって表すことができる。

【0337】

【数25】

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Gobs(k, ig, jg) - Lg(I', J')\} \right] = 0$$

... (25)

【0338】

以下において、式(25)を緑色の光量のバネ関係式と称する。ここで、式(25)における Σ は、ある位置 (I', J') に対して、位置 $(ig - 0.5, jg - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ で変換した基準座標系上の位置 (x, y) が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1, J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす (k, ig, jg) の組の個数分の和を表す。例えば、図23の例では、点A乃至点Eの5個の (k, ig, jg) の組についての和となる。

【0339】

式(25)は、 $L_g(I', J')$ を未知数とする一次方程式であり、式(25)を解くことにより、位置 (I', J') における真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ を求めることができる。

【0340】

位置 (I', J') における、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ と、真の青色の光量 $L_b(I', J')$ についても、図18乃至図23で説明した緑色の成分を受光する画素の場合と同様に、式(25)と同様の式(26)および式(27)の一次方程式をたてることができる。

【0341】

【数26】

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Robs(k, ir, jr) - Lr(I', J')\} \right] = 0$$

... (26)

【0342】

以下において、式(26)を赤色の光量のバネ関係式と称する。ここで、式(26)における Σ は、ある位置(I' , J')に対して、位置($i_r - 0.5$, $j_r - 0.5$)を変換パラメータ(θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k)で変換した基準座標系上の位置(x , y)が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1$, $J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす(k , i_r , j_r)の組の個数分の和を表す。

【0343】

【数27】

$$\Sigma \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(M_k \times E)} \times \{ \text{Bobs}(k, i_b, j_b) - L_b(I', J') \} \right] = 0$$

... (27)

【0344】

以下において、式(27)を青色の光量のバネ関係式と称する。ここで、式(27)における Σ は、ある位置(I' , J')に対して、位置($i_b - 0.5$, $j_b - 0.5$)を変換パラメータ(θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k)で変換した基準座標系上の位置(x , y)が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1$, $J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす(k , i_b , j_b)の組の個数分の和を表す。

【0345】

従って、第3実施の形態では、ある位置(I' , J')に対して、位置($i - 0.5$, $j - 0.5$)を変換パラメータ(θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k)で変換した基準座標系上の位置(補正位置)(x , y)が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1$, $J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす(k , i_b , j_b)の組の画素値に基づいて、真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、真の青色の光量 $L_b(I', J')$ が求められる。

【0346】

次に、図24のフローチャートを参照して、図2のステップS4における画像推定処理の第3実施の形態について説明する。

【0347】

初めに、ステップS71において、演算回路24は、基準座標系上のある位置

(I' , J') に注目する (以下、注目位置 (I' , J') と称する)。ここで、注目位置 (I' , J') は、基準画像である 1 枚目の撮像画像の「 i 番目、 j 番目の画素」の画素中心 ($i-0.5$, $j-0.5$) を表している。

【0348】

そして、ステップ S 7 1 から S 7 2 に進み、演算回路 2 4 は、注目位置 (I' , J') に対して、 k 枚目画像の緑色の成分を受光する画素の中心位置 ($i_g-0.5$, $j_g-0.5$) を変換パラメータ (θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k) で変換した基準座標系上の位置 (x , y) が、 $I'-1 \leq x < I'+1$, $J'-1 \leq y < J'+1$ を満たす (k , i_g , j_g) の組を、1 乃至 N 枚目画像についてすべて求め、ステップ S 7 3 に進む。

【0349】

ステップ S 7 3 において、演算回路 2 4 は、ステップ S 7 2 で求めたすべての (k , i_g , j_g) の組を用いて、式 (25) で表される緑色の光量のバネ関係式を生成して、ステップ S 7 4 に進む。

【0350】

ステップ S 7 4 において、演算回路 2 4 は、注目位置 (I' , J') に対して、 k 枚目画像の赤色の成分を受光する画素の中心位置 ($i_r-0.5$, $j_r-0.5$) を変換パラメータ (θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k) で変換した基準座標系上の位置 (x , y) が、 $I'-1 \leq x < I'+1$, $J'-1 \leq y < J'+1$ を満たす (k , i_r , j_r) の組を、1 乃至 N 枚目画像についてすべて求め、ステップ S 7 5 に進む。

【0351】

ステップ S 7 5 において、演算回路 2 4 は、ステップ S 7 4 で求めたすべての (k , i_r , j_r) の組を用いて、式 (26) で表される赤色の光量のバネ関係式を生成して、ステップ S 7 6 に進む。

【0352】

ステップ S 7 6 において、演算回路 2 4 は、注目位置 (I' , J') に対して、 k 枚目画像の青色の成分を受光する画素の中心位置 ($i_b-0.5$, $j_b-0.5$) を変換パラメータ (θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k) で変換した基準座標系

上の位置 (x, y) が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1$, $J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす $(k, i b, j b)$ の組を、1乃至N枚目画像についてすべて求め、ステップS77に進む。

【0353】

ステップS77において、演算回路24は、ステップS76で求めたすべての $(k, i b, j b)$ の組を用いて、式(27)で表される青色の光量のバネ関係式を生成して、ステップS78に進む。

【0354】

ステップS78において、演算回路24は、ステップS73で求めた式(25)で表される緑色の光量のバネ関係式、ステップS75で求めた式(26)で表される赤色の光量のバネ関係式、ステップS77で求めた式(27)で表される青色の光量のバネ関係式を、一次方程式として解くことにより、注目位置 (I', J') における真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ をそれぞれ求め、ステップS79に進む。

【0355】

ステップS79において、演算回路24は、すべての位置 (I', J') を注目位置としたか、即ち、1枚目の撮像画像の画素の中心位置のすべてを注目位置 (I', J') として、真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ を求めたか否かを判定する。

【0356】

ステップS79で、すべての位置 (I', J') をまだ注目位置として求めていると判定された場合、ステップS71に戻り、ステップS71乃至S79の処理が繰り返される。即ち、演算回路24は、まだ注目していない位置 (I', J') を次の注目位置 (I', J') として、注目位置 (I', J') における真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ をそれぞれ求める。

【0357】

一方、ステップS 7 9で、すべての位置 (I', J') を注目位置としたと判定された場合、ステップS 8 0に進み、演算回路2 4は、ステップS 7 8で求めた真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、真の青色の光量 $L_b(I', J')$ から、画像(信号)を推定し、D/Aコンバータ9またはコーデック1 2に結果画像として供給し、処理を戻す。例えば、「i 番目、j 番目の画素」においては、演算回路2 4は、緑色の値(G信号)としてステップS 7 8で求めた真の緑色の光量 $L_g(i - 0.5, j - 0.5)$ と、赤色の値(R信号)としてステップS 7 8で求めた真の赤色の光量 $L_r(i - 0.5, j - 0.5)$ と、青色の値(B信号)としてステップS 7 8で求めた真の青色の光量 $L_b(i - 0.5, j - 0.5)$ とから、「i 番目、j 番目の画素」の画像信号を推定する。そして、演算回路2 4は、その推定を位置 (I', J') を中心位置とする画素すべてについて行うことにより、結果画像を推定する。

【0 3 5 8】

以上のように、第3実施の形態では、撮像素子4の各画素で受光されるデータをポイントサンプリングされたデータとして捉え、各画素中心で観測された画素値とカメラブレのない鮮明な画像としての画像信号との関係をバネモデルで表すことにより、より本来の光に忠実で鮮明な画像を求めることができる。

【0 3 5 9】

(第4実施の形態)

次に、画像推定処理の第4実施の形態について説明する。第4実施の形態は、図2 4で説明した第3実施の形態の一部を改良したものである。

【0 3 6 0】

即ち、図2 4の第3実施の形態においては、ステップS 7 2において、演算回路2 4は、注目位置 (I', J') に対して、k 枚目画像の緑色の成分を受光する画素の中心位置 $(i_g - 0.5, j_g - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k)$ で変換した基準座標系上の位置 (x, y) が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1, J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす (k, i_g, j_g) の組を、1乃至N枚目画像についてすべて求める。そして、ステップS 7 3において、演算回路2 4は、ステップS 7 2で求めたすべての (k, i_g, j_g) の組を用いて

、式(25)で表される緑色の光量のバネ関係式を生成する。また、赤色や青色の成分を受光する画素についても、同様に、注目位置(I' , J')に対して、(k , i_g , j_g)の組を求め、その求めたすべての(k , i_g , j_g)の組を用いて式(26)や式(27)で表されるバネ関係式を生成する。

【0361】

ところで、1乃至N枚の画像のうちの特定の画像の、特定の画素のデータが、例えば、撮影ミスなどにより、信頼性のないデータとなってしまう場合がある。図1のデジタルカメラ1では、N枚の画像が撮像され、フレームメモリ22に記憶されている。従って、信頼性のないデータを採用しないようにしたとしても、十分なデータを確保することができる。

【0362】

そこで、第4実施の形態は、信頼性のあるデータのみを採用し(信頼性のないデータを破棄し)、より鮮明な画像を推定するようにするものである。そのため、第4実施の形態では、注目位置(I' , J')に対して、求めたすべての(k , i_g , j_g)の組の中から、信頼性のあるデータとして、予め設定されたL個の(k , i_g , j_g)の組を採用するものとする。ここで、Lは、例えば、8個などの固定の値とすることもできるし、ユーザの操作に応じて設定される可変の値とすることもできる。演算回路24は、求めたすべての(k , i_g , j_g)の組の画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ の平均値を求め、(k , i_g , j_g)の組を、その画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ の平均値に近い順にL個($L=8$)だけ選択し、位置(I' , J')の真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ を求めるのに採用する。

【0363】

従って、第3実施の形態において、式(25)、式(26)、および式(27)で表される緑色、赤色、および青色の光量のバネ関係式は、第4実施の形態では、それぞれ式(28)、式(29)、および式(30)のように表すことができる。

【0364】

【数28】

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Gobs(k, ig, jg) - Lg(I', J')\} \right] = 0$$

... (28)

【0365】

ここで、式(28)における Σ は、注目位置 (I', J') に対して、求めたすべての (k, ig, jg) の組の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の平均値を求め、画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ が平均値に近い順の L 個の (k, ig, jg) の組の和を表す。

【0366】

【数29】

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Robs(k, ir, jr) - Lr(I', J')\} \right] = 0$$

... (29)

【0367】

ここで、式(29)における Σ は、注目位置 (I', J') に対して、求めたすべての (k, ir, jr) の組の画素値 $Robs(k, ir, jr)$ の平均値を求め、画素値 $Robs(k, ir, jr)$ が平均値に近い順の L 個の (k, ir, jr) の組の和を表す。

【0368】

【数30】

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Bobs(k, ib, jb) - Lb(I', J')\} \right] = 0$$

... (30)

【0369】

ここで、式(30)における Σ は、注目位置 (I', J') に対して、求めたすべての (k, ib, jb) の組の画素値 $Bobs(k, ib, jb)$ の平均値を求め、画素値 $Bobs(k, ib, jb)$ が平均値に近い順の L 個の (k, ib, jb) の組の和を表す。

【0370】

図25のフローチャートを参照して、図2のステップS4における画像推定処理の第4実施の形態について説明する。

【0371】

初めに、ステップS91において、演算回路24は、基準座標系上のある位置(I' , J')に注目する(以下、注目位置(I' , J')と称する)。ここで、注目位置(I' , J')は、基準画像である1枚目の撮像画像の「 i 番目、 j 番目の画素」の画素中心($i-0.5$, $j-0.5$)を表している。

【0372】

そして、ステップS91からS92に進み、演算回路24は、注目位置(I' , J')に対して、 k 枚目画像の緑色の成分を受光する画素の中心位置($i_g-0.5$, $j_g-0.5$)を変換パラメータ(θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k)で変換した基準座標系上の位置(x , y)が、 $I'-1 \leq x < I'+1$, $J'-1 \leq y < J'+1$ を満たす(k , i_g , j_g)の組を、1乃至 N 枚目画像についてすべて求め、ステップS93に進む。

【0373】

ステップS93において、演算回路24は、ステップS92で求めたすべての(k , i_g , j_g)の組における画素値 $Gobs(k, i_g, j_g)$ の平均値を求め、画素値 $Gobs(k, i_g, j_g)$ が平均値に近い順の L 個の(k , i_g , j_g)の組を選択し、ステップS94に進む。即ち、ステップS93では、ステップS92で求めたすべての(k , i_g , j_g)の組における画素値 $Gobs(k, i_g, j_g)$ の平均値から遠いものが、信頼性のないデータとして破棄される。なお、ステップS92で求めたすべての(k , i_g , j_g)の組が、もともと L 個に達していない場合には、それらすべての(k , i_g , j_g)の組が選択される(破棄されない)。

【0374】

ステップS94において、演算回路24は、ステップS93で選択した L 個の(k , i_g , j_g)の組を用いて、式(28)で表される緑色の光量のバネ関係式を生成して、ステップS95に進む。

【0375】

ステップS95において、演算回路24は、注目位置(I' , J')に対して、 k 枚目画像の赤色の成分を受光する画素の中心位置($i_r - 0.5$, $j_r - 0.5$)を変換パラメータ(θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k)で変換した基準座標系上の位置(x , y)が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1$, $J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす(k , i_r , j_r)の組を、1乃至 N 枚目画像についてすべて求め、ステップS96に進む。

【0376】

ステップS96において、演算回路24は、ステップS96で求めたすべての(k , i_r , j_r)の組における画素値 $Rob_s(k, i_r, j_r)$ の平均値を求め、画素値 $Rob_s(k, i_r, j_r)$ が平均値に近い順の L 個の(k , i_r , j_r)の組を選択し、ステップS97に進む。即ち、ステップS96では、ステップS95で求めたすべての(k , i_r , j_r)の組における画素値 $Rob_s(k, i_r, j_r)$ の平均値から遠いものが、信頼性のないデータとして破棄される。なお、ステップS95で求めたすべての(k , i_r , j_r)の組が、もとも L 個に達していない場合には、それらすべての(k , i_r , j_r)の組が選択される(破棄されない)。

【0377】

ステップS97において、演算回路24は、ステップS96で選択した L 個の(k , i_r , j_r)の組を用いて、式(29)で表される赤色の光量のバネ関係式を生成して、ステップS98に進む。

【0378】

ステップS98において、演算回路24は、注目位置(I' , J')に対して、 k 枚目画像の青色の成分を受光する画素の中心位置($i_b - 0.5$, $j_b - 0.5$)を変換パラメータ(θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k)で変換した基準座標系上の位置(x , y)が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1$, $J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす(k , i_b , j_b)の組を、1乃至 N 枚目画像についてすべて求め、ステップS99に進む。

【0379】

ステップS99において、演算回路24は、ステップS98で求めたすべての (k, i_b, j_b) の組における画素値 $Bobs(k, i_b, j_b)$ の平均値を求め、画素値 $Bobs(k, i_b, j_b)$ が平均値に近い順のL個の (k, i_b, j_b) の組を選択し、ステップS100に進む。即ち、ステップS99では、ステップS98で求めたすべての (k, i_b, j_b) の組における画素値 $Bobs(k, i_b, j_b)$ の平均値から遠いものが、信頼性のないデータとして破棄される。なお、ステップS98で求めたすべての (k, i_b, j_b) の組が、もともとL個に達していない場合には、それらすべての (k, i_b, j_b) の組が選択される（破棄されない）。

【0380】

ステップS100において、演算回路24は、ステップS99で選択したL個の (k, i_b, j_b) の組を用いて、式(30)で表される青色の光量のバネ関係式を生成して、ステップS101に進む。

【0381】

ステップS101において、演算回路24は、ステップS94で求めた式(28)で表される緑色の光量のバネ関係式、ステップS97で求めた式(29)で表される赤色の光量のバネ関係式、ステップS100で求めた式(30)で表される青色の光量のバネ関係式を、一次方程式として解くことにより、注目位置 (I', J') における真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ をそれぞれ求め、ステップS102に進む。

【0382】

ステップS102において、演算回路24は、すべての位置 (I', J') を注目位置としたか、即ち、1枚目の撮像画像の画素の中心位置のすべてを注目位置 (I', J') として、真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ を求めたか否かを判定する。

【0383】

ステップS102で、すべての位置 (I', J') を、まだ注目位置としてい

ないと判定された場合、ステップS91に戻り、ステップS91乃至S102の処理が繰り返される。即ち、演算回路24は、まだ注目していない位置(I' , J')を次の注目位置(I' , J')として、注目位置(I' , J')における真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ をそれぞれ求める。

【0384】

一方、ステップS102で、すべての位置(I' , J')を注目位置としたと判定された場合、ステップS103に進み、演算回路24は、ステップS101で求めた真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、真の青色の光量 $L_b(I', J')$ から、画像(信号)を推定し、D/Aコンバータ9またはコーデック12に結果画像として供給し、処理を戻す。例えば、「 i 番目、 j 番目の画素」においては、演算回路24は、緑色の値(G信号)としてステップS101で求めた真の緑色の光量 $L_g(i-0.5, j-0.5)$ と、赤色の値(R信号)としてステップS101で求めた真の赤色の光量 $L_r(i-0.5, j-0.5)$ と、青色の値(B信号)としてステップS101で求めた真の青色の光量 $L_b(i-0.5, j-0.5)$ とから、「 i 番目、 j 番目の画素」の画像信号を推定する。そして、演算回路24は、その推定を位置(I' , J')を中心位置とする画素すべてについて行うことにより、結果画像を推定する。

【0385】

以上のように、第4実施の形態では、平均値に近い画素値を信頼性の高いデータとして、その信頼性の高いデータにのみ、バネモデルを適用するようにしたので、第3実施の形態より本来の光に忠実で鮮明な画像を求めることが可能となる。

【0386】

(第5実施の形態)

次に、画像推定処理の第5実施の形態について説明する。第5実施の形態は、第4実施の形態と同様に、注目位置(I' , J')に対して、求めたすべての(k , i_g , j_g)の組の中から、信頼性のあるデータとして、予め設定された L

個の (k, i_g, j_g) の組を採用し、 L 個で構成された緑色、赤色、および青色の光量のバネ関係式を解くことにより、真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ を求めるものである。

【0387】

第4実施の形態では、演算回路24において、例えば、緑色の成分を受光する画素については、求めたすべての (k, i_g, j_g) の組の画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ の平均値を求め、画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ が平均値に近い順の L 個の (k, i_g, j_g) の組を選択するようにした。

【0388】

一方、第5実施の形態では、演算回路24は、注目位置 (I', J') に対して、 k 枚目画像の緑色の成分を受光する画素の中心位置 $(i_g - 0.5, j_g - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k)$ で変換した基準座標系上の位置 (x, y) と注目位置 (I', J') との距離が短いものから順番に L 個だけ (k, i_g, j_g) の組を、信頼性の高いデータとして選択する。なぜなら、図19で説明したように、注目位置 (I', J') の真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ を、位置 (x, y) で観測された画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ で近似したことによる近似誤差は、位置 (x, y) と注目位置 (I', J') との距離が長くなるほど大きくなる。従って、注目位置 (I', J') からの距離が遠い位置 (x, y) で観測された画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ ほど信頼性が少なくなる。なお、2点 (x_1, y_1) と (x_2, y_2) との間の距離を求める関数は、例えば、図19で説明した関数 $F((x_1, y_1), (x_2, y_2))$ を採用することができる。

【0389】

第5実施の形態では、第3実施の形態における式(25)、式(26)、および式(27)に代えて、式(31)、式(32)、および式(33)で表される緑色、赤色、および青色の光量のバネ関係式が用いられる。

【0390】

【数31】

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Gobs(k, ig, jg) - Lg(I', J')\} \right] = 0$$

. . . (31)

【0391】

ここで、式(31)における Σ は、注目位置 (I', J') に対して、 k 枚目画像の緑色の成分を受光する画素の中心位置 $(ig - 0.5, jg - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ で変換した基準座標系上の位置 (x, y) と注目位置 (I', J') との距離が短いものから順番に選択した L 個の (k, ig, jg) の組の和を表す。

【0392】

【数32】

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Robs(k, ir, jr) - Lr(I', J')\} \right] = 0$$

. . . (32)

【0393】

ここで、式(32)における Σ は、注目位置 (I', J') に対して、 k 枚目画像の赤色の成分を受光する画素の中心位置 $(ir - 0.5, jr - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ で変換した基準座標系上の位置 (x, y) と注目位置 (I', J') との距離が短いものから順番に選択した L 個の (k, ir, jr) の組の和を表す。

【0394】

【数33】

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Bobs(k, ib, jb) - Lb(I', J')\} \right] = 0$$

. . . (33)

【0395】

ここで、式(33)における Σ は、注目位置 (I', J') に対して、 k 枚目画像の青色の成分を受光する画素の中心位置 $(ib - 0.5, jb - 0.5)$ を

変換パラメータ (θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k) で変換した基準座標系上の位置 (x , y) と注目位置 (I' , J') との距離が短いものから順番に選択した L 個の (k , i_b , j_b) の組の和を表す。

【0396】

図26のフローチャートを参照して、図2のステップS4における画像推定処理の第5実施の形態について説明する。

【0397】

初めに、ステップS121において、演算回路24は、基準座標系上のある位置 (I' , J') に注目する (以下、注目位置 (I' , J') と称する)。ここで、注目位置 (I' , J') は、基準画像である1枚目の撮像画像の「 i 番目、 j 番目の画素」の画素中心 ($i-0.5$, $j-0.5$) を表している。

【0398】

ステップS121からS122に進み、演算回路24は、注目位置 (I' , J') に対して、 k 枚目画像の緑色の成分を受光する画素の中心位置 ($i_g-0.5$, $j_g-0.5$) を変換パラメータ (θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k) で変換した基準座標系上の位置 (x , y) が、 $I'-1 \leq x < I'+1$, $J'-1 \leq y < J'+1$ を満たす (k , i_g , j_g) の組を、1乃至 N 枚目画像についてすべて求め、ステップS123に進む。

【0399】

ステップS123において、演算回路24は、ステップS122で求めたすべての (k , i_g , j_g) の組の中から、注目位置 (I' , J') に対して、 k 枚目画像の緑色の成分を受光する画素の中心位置 ($i_g-0.5$, $j_g-0.5$) を変換パラメータ (θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k) で変換した基準座標系上の位置 (x , y) と注目位置 (I' , J') との距離が短い順に L 個だけ (k , i_g , j_g) の組を選択し、ステップS124に進む。即ち、ステップS123では、ステップS122で求めたすべての (k , i_g , j_g) の組のうち、位置 (x , y) と注目位置 (I' , J') との距離が長いものが、信頼性のないデータとして破棄される。なお、ステップS122で求めたすべての (k , i_g , j_g) の組が、もともと L 個に達していない場合には、それらすべての (k , i_g , j

g) の組が選択される (破棄されない)。

【0400】

ステップS124において、演算回路24は、ステップS123で選択したL個の (k, i_g, j_g) の組を用いて、式(31)で表される緑色の光量のバネ関係式を生成して、ステップS125に進む。

【0401】

ステップS125において、演算回路24は、注目位置 (I', J') に対して、k枚目画像の赤色の成分を受光する画素の中心位置 $(i_r - 0.5, j_r - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k)$ で変換した基準座標系上の位置 (x, y) が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1$, $J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす (k, i_r, j_r) の組を、1乃至N枚目画像についてすべて求め、ステップS126に進む。

【0402】

ステップS126において、演算回路24は、ステップS125で求めたすべての (k, i_r, j_r) の組の中から、注目位置 (I', J') に対して、k枚目画像の赤色の成分を受光する画素の中心位置 $(i_r - 0.5, j_r - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k)$ で変換した基準座標系上の位置 (x, y) と注目位置 (I', J') との距離が短い順にL個だけ (k, i_r, j_r) の組を選択し、ステップS127に進む。即ち、ステップS126では、ステップS125で求めたすべての (k, i_r, j_r) の組のうち、位置 (x, y) と注目位置 (I', J') との距離が長いものが、信頼性のないデータとして破棄される。なお、ステップS125で求めたすべての (k, i_r, j_r) の組が、もともとL個に達していない場合には、それらすべての (k, i_r, j_r) の組が選択される (破棄されない)。

【0403】

ステップS127において、演算回路24は、ステップS126で選択したL個の (k, i_r, j_r) の組を用いて、式(32)で表される赤色の光量のバネ関係式を生成して、ステップS128に進む。

【0404】

ステップS128において、演算回路24は、注目位置(I' , J')に対して、 k 枚目画像の青色の成分を受光する画素の中心位置($i_b - 0.5$, $j_b - 0.5$)を変換パラメータ(θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k)で変換した基準座標系上の位置(x , y)が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1$, $J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす(k , i_b , j_b)の組を、1乃至 N 枚目画像についてすべて求め、ステップS129に進む。

【0405】

ステップS129において、演算回路24は、ステップS128で求めたすべての(k , i_b , j_b)の組の中から、注目位置(I' , J')に対して、 k 枚目画像の青色の成分を受光する画素の中心位置($i_b - 0.5$, $j_b - 0.5$)を変換パラメータ(θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k)で変換した基準座標系上の位置(x , y)と注目位置(I' , J')との距離が短い順に L 個だけ(k , i_b , j_b)の組を選択し、ステップS130に進む。即ち、ステップS129では、ステップS128で求めたすべての(k , i_b , j_b)の組のうち、位置(x , y)と注目位置(I' , J')との距離が長いものが、信頼性のないデータとして破棄される。なお、ステップS128で求めたすべての(k , i_b , j_b)の組が、もともと L 個に達していない場合には、それらすべての(k , i_b , j_b)の組が選択される(破棄されない)。

【0406】

ステップS130において、演算回路24は、ステップS129で選択した L 個の(k , i_b , j_b)の組を用いて、式(33)で表される青色の光量のバネ関係式を生成して、ステップS131に進む。

【0407】

ステップS131において、演算回路24は、ステップS124で求めた式(31)で表される緑色の光量のバネ関係式、ステップS127で求めた式(32)で表される赤色の光量のバネ関係式、ステップS130で求めた式(33)で表される青色の光量のバネ関係式を、一次方程式として解くことにより、注目位置(I' , J')における真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ をそれぞれ求め

、ステップ S 1 3 2 に進む。

【0 4 0 8】

ステップ S 1 3 2 において、演算回路 2 4 は、すべての位置 (I' , J') を注目位置としたか、即ち、1 枚目の撮像画像の画素の中心位置のすべてを注目位置 (I' , J') として、真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ を求めたか否かを判定する。

【0 4 0 9】

ステップ S 1 3 2 で、すべての位置 (I' , J') を、まだ注目位置としていないと判定された場合、ステップ S 1 2 1 に戻り、ステップ S 1 2 1 乃至 S 1 3 2 の処理が繰り返される。即ち、演算回路 2 4 は、まだ注目していない位置 (I' , J') を次の注目位置 (I' , J') として、注目位置 (I' , J') における真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ をそれぞれ求める。

【0 4 1 0】

一方、ステップ S 1 3 2 で、すべての位置 (I' , J') を注目位置としたと判定された場合、ステップ S 1 3 3 に進み、演算回路 2 4 は、ステップ S 1 3 1 で求めた真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、真の青色の光量 $L_b(I', J')$ から、画像 (信号) を生成し、D/A コンバータ 9 またはコーデック 1 2 に結果画像として供給し、処理を戻る。例えば、「 i 番目、 j 番目の画素」においては、演算回路 2 4 は、緑色の値 (G 信号) としてステップ S 1 3 1 で求めた真の緑色の光量 $L_g(i - 0.5, j - 0.5)$ と、赤色の値 (R 信号) としてステップ S 1 3 1 で求めた真の赤色の光量 $L_r(i - 0.5, j - 0.5)$ と、青色の値 (B 信号) としてステップ S 1 3 1 で求めた真の青色の光量 $L_b(i - 0.5, j - 0.5)$ とから、「 i 番目、 j 番目の画素」の画像信号を推定する。そして、演算回路 2 4 は、その推定を位置 (I' , J') を中心位置とする画素すべてについて行うことにより、結果画像を推定する。

【0 4 1 1】

以上のように、第5実施の形態では、注目位置 (I' , J') に近い位置で観測された画素値を信頼性の高いデータとして、その信頼性の高いデータにのみ、バネモデルを適用するようにしたので、第3実施の形態より本来の光に忠実で鮮明な画像を求めることが可能となる。

【0412】

(第6実施の形態)

次に、画像推定処理の第6実施の形態について説明する。

【0413】

第6実施の形態も、上述した第3実施の形態の一部を改良したものである。即ち、第6実施の形態では、画像のエッジ部分を検出し、検出したエッジ部分にある画素値に対して、第3実施の形態における式(25)、式(26)、および式(27)で表される緑色、赤色、および青色の光量のバネ関係式を改良する。

【0414】

図27は、緑色、赤色、および青色のうちの、例えば、緑色の成分 (G信号) に注目した基準座標系を示している。

【0415】

図27では、境界 (エッジ) 51を境に、右側に明るい緑色としての画素値が観測されており、左側に暗い緑色としての画素値が観測されている。なお、ここでは、緑色の画素値が、例えば、8ビットで表されるものとして、明るい緑色の画素値を、例えば、240程度とするとともに、暗い緑色の画素値を、例えば、16程度とする。

【0416】

図27において、白丸52-1乃至52-10、白丸53-1乃至53-9、および白丸54は、あるk枚目画像の「ig番目、jg番目の画素」の中心位置 ($ig-0.5$, $jg-0.5$) を変換パラメータ (θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k) で変換した基準座標系上の位置を表し、その位置で緑色の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ が観測されている。ここで、(k, ig, jg) の組は、白丸52-1乃至52-10、白丸53-1乃至53-9、および白丸54それぞれにおいて異なるものである。

【0417】

図27中の点線で示される格子状の交点に配置される黒丸のそれぞれは、演算回路24が真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ を求めるべき位置 (I', J') を表している。ここで、位置 (I', J') は、上述したように、基準画像である1枚目画像における「i番目、j番目の画素」の画素中心 $(i-0.5, j-0.5)$ を表している。また、X方向とY方向の $L_g(I', J')$ どうしの間隔は、ともに1であり、従って、画素のX方向とY方向の大きさも、ともに1である。

【0418】

さて、図27の領域61に含まれる白丸52-1乃至52-8で表される位置では、240程度の明るい緑色の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ が観測される。

【0419】

また、図27の領域62に含まれる白丸53-1乃至53-7で表される位置では、16程度の暗い緑色の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ が観測される。

【0420】

さらに、図27の白丸54で表される位置は、境界51上の位置であり、この位置では、オンチップレンズの効果により、画素値240の明るい緑色の光と、画素値16の暗い緑色の光とを同一光量だけ受光した画素値が観測される。従って、白丸54の位置の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ としては、240と16の平均となる128 $(= (240+16)/2)$ が観測される。

【0421】

なお、上述の白丸52-1乃至52-8、白丸53-1乃至53-7、白丸54で観測される画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ には、通常、誤差成分が含まれるため、正確には、約240、約16、約128と表現すべきであるが、ここでは、そのような誤差成分を無視して、240、16、128と記載することとする。

【0422】

ここで、例えば、図27の黒丸71の位置を注目位置 (I', J') とし、上

述の第3の実施の形態の方法により、黒丸71で表される注目位置 (I' , J') の真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ を求める場合について考える。

【0423】

即ち、黒丸71の位置を注目位置 (I' , J') とすると、その周辺の、白丸52-3、52-6、52-10、54などの位置で観測される画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ が、式(25)中の $Gobs(k, ig, jg)$ として採用される。この場合、式(25)を解くことにより得られる解である真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ は、白丸54の位置で観測される画素値である128に引っ張られ(影響され)、240より小さな値となる。しかしながら、本来であれば、黒丸71の位置は、画素値240の明るい緑色の画素値が観測される、境界51の右側の位置であるので、式(25)を解くことにより得られる解である真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ は、240となるのが望ましい。

【0424】

また、黒丸72の位置を注目位置 (I' , J') とすると、その周辺の、白丸53-2、53-3、53-5、53-9、54などの位置で観測される画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ が、式(25)中の $Gobs(k, ig, jg)$ として採用される。この場合、式(25)を解くことにより得られる解である真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ は、白丸54の位置で観測される画素値である128に引っ張られ(影響され)、16より大きな値となる。しかしながら、本来であれば、黒丸72の位置は、画素値16の暗い緑色の画素値が観測される、境界51の左側の位置であるので、式(25)を解くことにより得られる解である真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ は、16となるのが望ましい。

【0425】

以上のことが、黒丸73、黒丸74の位置についても同様に言える。つまり、第3実施の形態の画像推定処理により推定された画像は、図27の境界51が存在するエッジ部分では、エッジがなだらかになり(隣接する画素の画素値の差が小さくなり)ボケた画像となってしまうことがあり得る。

【0426】

そこで、第6実施の形態では、図27の境界51が存在するエッジ部分を検出

し、そのエッジ部分にある画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ に対して特別な処理を行う、即ち、式 (25) で表される緑色の光量のバネ関係式に代入する画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ を変更する。

【0427】

第6実施の形態の具体的な方法について、図27と同様に、緑色の成分 (G信号) に注目して説明する。

【0428】

最初に、演算回路24は、基準座標系上に変換された位置すべての画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ を用いてエッジ部分の検出を行う。即ち、演算回路24は、「縦方向のエッジ」、「横方向のエッジ」、「左上から右下方向のエッジ」、「右下から左下方向のエッジ」の4つの方向のエッジそれぞれの有無を判定する。

【0429】

図28を参照して、縦方向のエッジがあるかどうか判定する判定方法について説明する。

【0430】

図28は、基準座標系を示している。そして、図28において、白丸81-1乃至81-10、白丸82-1乃至82-9、および白丸83で表される位置は、あるk枚目画像の「ig番目、jg番目の画素」の中心位置 ($i g - 0.5$, $j g - 0.5$) を変換パラメータ (θk , $T k x$, $T k y$, $S k$) で変換した基準座標系上の位置を表し、その位置で画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ が観測されている。ここで、 $(k, i g, j g)$ の組は、白丸81-1乃至81-10、白丸82-1乃至82-9、および白丸83それぞれにおいて異なるものである。

【0431】

図28中の点線で示される格子状の交点に配置される黒丸のそれぞれは、演算回路24が真の緑色の光量 $L g (I', J')$ を求めるべき位置 (I' , J') を表している。ここで、位置 (I' , J') は、上述したように、基準画像である1枚目画像における「i番目、j番目の画素」の画素中心 ($i - 0.5$, $j -$

0.5)を表している。また、X方向とY方向のLg(I', J')どうしの間隔は、図27と同様に1であり、従って、画素のX方向とY方向の大きさも、ともに1である。

【0432】

演算回路24は、図28中の白丸83の位置などに注目し、例えば、図28に示されるエッジ94のような、縦方向のエッジがあるかどうかを判定する。白丸83の位置(x, y)は、式 $I - 0.5 \leq x < I + 0.5$, $J - 0.5 \leq y < J + 0.5$ を満たすものとする。従って、白丸83の位置(x, y)は、位置(I + 0.5, J - 0.5)を表す黒丸84、位置(I - 0.5, J - 0.5)を表す黒丸85、位置(I + 0.5, J + 0.5)を表す黒丸86、位置(I - 0.5, J + 0.5)を表す黒丸87で囲まれる領域A11内の位置である。ここで、I, Jは、これまでと同様に整数である。

【0433】

演算回路24は、注目している白丸83の位置を含む領域A11を中心とする、画素の大きさと同じ1ごとの、9つの領域を定義する。即ち、9つの領域は、 $I - 1.5 \leq x < I - 0.5$, $J - 1.5 \leq y < J - 0.5$ の領域A00、 $I - 1.5 \leq x < I - 0.5$, $J - 0.5 \leq y < J + 0.5$ の領域A01、 $I - 1.5 \leq x < I - 0.5$, $J + 0.5 \leq y < J + 1.5$ の領域A02、 $I - 0.5 \leq x < I + 0.5$, $J - 1.5 \leq y < J - 0.5$ の領域A10、 $I - 0.5 \leq x < I + 0.5$, $J - 0.5 \leq y < J + 0.5$ の領域A11、 $I - 0.5 \leq x < I + 0.5$, $J + 0.5 \leq y < J + 1.5$ の領域A12、 $I + 0.5 \leq x < I + 1.5$, $J - 1.5 \leq y < J - 0.5$ の領域A20、 $I + 0.5 \leq x < I + 1.5$, $J - 0.5 \leq y < J + 0.5$ の領域A21、 $I + 0.5 \leq x < I + 1.5$, $J + 0.5 \leq y < J + 1.5$ の領域A22、である。いま注目している白丸83の位置は、領域A11に含まれている。

【0434】

ここで、以上のように、注目している白丸83の位置に対して定義される9つの領域A00乃至A22の全体を、以下、適宜、エッジ判定領域と称する。

【0435】

縦方向のエッジ 94 があるかどうか判定するため、演算回路 24 は、領域 A 00、領域 A 01、領域 A 02 の 1 列で構成される、エッジ判定領域の左側の領域 91（以下、左側領域 91 と称する）、領域 A 10、領域 A 11、領域 A 12 の 1 列で構成される、エッジ判定領域の中央の領域 92（以下、中央領域 92 と称する）、領域 A 20、領域 A 21、領域 A 22 の 1 列で構成される、エッジ判定領域の右側の領域 93（以下、右側領域 93 と称する）内それぞれに含まれる白丸の位置の画素値 $G o b s(k, i g, j g)$ の平均値と分散を求める。

【0436】

即ち、演算回路 24 は、左側領域 91 内の白丸 82-1 乃至 82-7 の位置の画素値 $G o b s(k, i g, j g)$ の平均値 $E G 0$ と分散 $S G 0$ を求める。また、演算回路 24 は、中央領域 92 内の白丸 81-9、81-10、82-8 乃至 82-9、および 83 の位置の画素値 $G o b s(k, i g, j g)$ の平均値 $E G 0''$ を求める。さらに、演算回路 24 は、右側領域 93 内の白丸 81-1 乃至 81-8 の位置の画素値 $G o b s(k, i g, j g)$ 平均値 $E G 0'$ と分散 $S G 0'$ を求める。

【0437】

仮に、注目している白丸 83 の位置付近に、縦方向のエッジ 94 がある場合、左側領域 91 の平均値 $E G 0$ 、中央領域 92 の平均値 $E G 0''$ 、および右側領域 93 の平均値 $E G 0'$ には、次式 (a) の関係が成り立つ。そこで、演算回路 24 は、式 (a) が成立するときに、縦方向のエッジがあると判定する。

【0438】

$$E G 0 < E G 0'' < E G 0' \text{ または } E G 0' < E G 0'' < E G 0 \quad \dots (a)$$

【0439】

なお、実際には、エッジ 94 以外の部分でも、例えば、被写体の細かな模様などによるデータのばらつきにより、上述の式 (a) を満たす場合があり得るため、演算回路 24 は、分散 $S G 0$ 、 $S G 0'$ を付加した次式が成り立つかどうか判定することにより、さらに確実に縦方向のエッジ 94 があるかどうかを判定する。即ち、演算回路 24 は、式 (b) が成立するときに、縦方向のエッジがあると

判定する。

【0440】

$$EG0 + SG0 < EG0'' < EG0' - SG0'$$

$$\text{または } EG0' + SG0' < EG0'' < EG0 - SG0$$

... (b)

【0441】

式 (b) によれば、模様部分のように画素値にばらつきがあり、分散 $SG0$, $SG0'$ が大となる部分については、エッジがあると判定され難くなり、誤判定を防止することができる。

【0442】

図29を参照して、横方向のエッジがあるかどうか判定する判定方法について説明する。なお、図28と対応する部分については、同一の符号を付してあり、以下では、その説明は省略する。

【0443】

横方向のエッジ104があるかどうか判定するため、演算回路24は、領域A00、領域A10、領域A20の1列で構成される、エッジ判定領域の上側の領域101（以下、上側領域101と称する）、領域A01、領域A11、領域A21の1列で構成されるエッジ判定領域の中央の領域102（以下、中央領域102と称する）、領域A02、領域A12、領域A22の1列で構成される、エッジ判定領域の下側の領域103（以下、下側領域103と称する）内それぞれに含まれる白丸の位置の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の平均値と分散を求める。

【0444】

即ち、演算回路24は、上側領域101内の白丸81-1乃至81-3、81-10、82-1、82-2、82-9の位置の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の平均値 $EG1$ と分散 $SG1$ を求める。また、演算回路24は、中央領域102内の白丸81-4乃至81-6、82-3乃至82-5、および83の位置の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の平均値 $EG1''$ を求める。さらに、演算回路24は、下側領域103内の白丸81-7乃至81-9、82-6乃至82

− 8 の位置の画素値 $G_{obs}(k, i_g, j_g)$ 平均値 $EG1'$ と分散 $SG1'$ を求める。

【0445】

仮に、注目している白丸 83 の位置付近に、横方向のエッジ 104 がある場合、上側領域 101 の平均値 $EG1$ 、中央領域 102 の平均値 $EG1''$ 、および下側領域 103 の平均値 $EG1'$ の関係として、被写体の細かな模様などによるデータのばらつきも考慮した次式 (c) をたてる。そして、演算回路 24 は、式 (c) が成立するときに、横方向のエッジがあると判定する。

【0446】

$$EG1 + SG1 < EG1'' < EG1' - SG1'$$

$$\text{または } EG1' + SG1' < EG1'' < EG1 - SG1$$

... (c)

【0447】

式 (c) によれば、模様部分のように画素値にばらつきがあり、分散 $SG1$ 、 $SG1'$ が大となる部分については、エッジがあると判定され難くなり、誤判定を防止することができる。なお、上述の式 (a) における場合と同様に、分散を考慮せずに、平均値のみで、横方向のエッジの有無を判定することも可能である。

【0448】

図 30 を参照して、左上から右下方方向のエッジがあるかどうか判定する判定方法について説明する。なお、図 28 と対応する部分については、同一の符号を付してあり、以下では、その説明は省略する。

【0449】

左上から右下方方向のエッジ 114 があるかどうか判定するため、演算回路 24 は、領域 A01、領域 A02、領域 A12 の 1 列で構成される、エッジ判定領域の左下側の領域 111 (以下、左下側領域 111 と称する)、領域 A00、領域 A11、領域 A22 の 1 列で構成される、エッジ判定領域の中央の領域 112 (以下、中央領域 112 と称する)、領域 A10、領域 A20、領域 A21 の 1 列で構成される、エッジ判定領域の左上側の領域 113 (以下、左上側領域 113

と称する) 内それぞれに含まれる白丸の位置の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ の平均値と分散を求める。

【0450】

即ち、演算回路24は、左下側領域111内の白丸81-9、82-3乃至82-8の位置の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ の平均値 $E G 2$ と分散 $S G 2$ を求める。また、演算回路24は、中央領域112内の白丸81-7、81-8、82-1、82-2、および83の位置の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ の平均値 $E G 2''$ を求める。さらに、演算回路24は、右上側領域113内の白丸81-1乃至81-6、81-10、および82-9の位置の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ 平均値 $E G 2'$ と分散 $S G 2'$ を求める。

【0451】

仮に、注目している白丸83の位置付近に、左上から右下方向のエッジ114がある場合、左下側領域111の平均値 $E G 2$ 、中央領域112の平均値 $E G 2''$ 、および右上側領域113の平均値 $E G 2'$ の関係として、被写体の細かな模様などによるデータのばらつきも考慮した次式 (d) をたてる。そして、演算回路24は、式 (d) が成立するときに、左上から右下方向のエッジがあると判定する。

【0452】

$$E G 2 + S G 2 < E G 2'' < E G 2' - S G 2'$$

$$\text{または } E G 2' + S G 2' < E G 2'' < E G 2 - S G 2$$

... (d)

【0453】

式 (d) によれば、模様部分のように画素値にばらつきがあり、分散 $S G 2$ 、 $S G 2'$ が大となる部分については、エッジがあると判定され難くなり、誤判定を防止することができる。なお、上述の式 (a) における場合と同様に、分散を考慮せずに、平均値のみで、左上から右下方向のエッジの有無を判定することも可能である。

【0454】

図31を参照して、右上から左下方向のエッジがあるかどうか判定する判定方

法について説明する。なお、図 28 と対応する部分については、同一の符号を付してあり、以下では、その説明は省略する。

【0455】

右上から左下方向のエッジ 124 があるかどうか判定するため、演算回路 24 は、領域 A00、領域 A01、領域 A10 の 1 列で構成される、エッジ判定領域の左上側の領域 121（以下、左上側領域 121 と称する）、領域 A02、領域 A11、領域 A20 の 1 列で構成される、エッジ判定領域の中央の領域 122（以下、中央領域 122 と称する）、領域 A12、領域 A21、領域 A22 の 1 列で構成される、エッジ判定領域の右下側の領域 123（以下、右下側領域 123 と称する）内それぞれに含まれる白丸の位置の画素値 $Gob_s(k, i_g, j_g)$ の平均値と分散を求める。

【0456】

即ち、演算回路 24 は、左上側領域 121 内の白丸 81-10、82-1 乃至 82-5、82-9 の位置の画素値 $Gob_s(k, i_g, j_g)$ の平均値 $EG3$ と分散 $SG3$ を求める。また、演算回路 24 は、中央領域 122 内の白丸 81-1 乃至 81-3、82-6、82-7、および 83 の位置の画素値 $Gob_s(k, i_g, j_g)$ の平均値 $EG3''$ を求める。さらに、演算回路 24 は、右下側領域 123 内の白丸 81-4 乃至 81-9、82-8 の位置の画素値 $Gob_s(k, i_g, j_g)$ 平均値 $EG3'$ と分散 $SG3'$ を求める。

【0457】

仮に、注目している白丸 83 の位置付近に、右上から左下方向のエッジ 124 がある場合、左上側領域 121 の平均値 $EG3$ 、中央領域 122 の平均値 $EG3''$ 、および右下側領域 123 の平均値 $EG3'$ の関係として、被写体の細かな模様などによるデータのばらつきも考慮した次式 (e) をたてる。そして、演算回路 24 は、式 (e) が成立するときに、右上から左下方向のエッジがあると判定する。

【0458】

$$EG3 + SG3 < EG3'' < EG3' - SG3'$$

$$\text{または } EG3' + SG3' < EG3'' < EG3 - SG3$$

... (e)

【0459】

式 (e) によれば、模様部分のように画素値にばらつきがあり、分散 $SG1$, $SG1'$ が大となる部分については、エッジがあると判定され難くなり、誤判定を防止することができる。なお、上述の式 (a) における場合と同様に、分散を考慮せずに、平均値のみで、右下から左下方向のエッジの有無を判定することも可能である。

【0460】

図28乃至図31で説明したように、演算回路24は、「縦方向」、「横方向」、「左上から右下方向」、「右下から左下方向」の4つの方向について、エッジがあるかどうか、即ち、上述の式が成り立つかどうかを判定する。なお、演算回路24は、緑色のみならず、他の赤色と青色それぞれについても同様に、エッジの有無を判定する。

【0461】

ここで、4つの方向のエッジのうち、複数の方向のエッジについて、上述の式が成り立つことも考えられる。しかしながら、実際のエッジは1つであるので、その場合、一番顕著な方向のエッジのみを採用し、その他の方向のエッジはないものとする。

【0462】

具体的には、例えば、演算回路24は、エッジが検出された複数の方向について、

$$| (EGm' - EGm) \div (SGm' + SGm) |$$

($m = 0$ 乃至 3 のいずれか)

を演算し、その演算結果が一番大となる m を決定する。そして、その m が、0であれば「縦方向のエッジ」を、1であれば「横方向のエッジ」を、2であれば「左上から右下方向のエッジ」を、3であれば「右下から左下方向のエッジ」を、それぞれ、一番顕著な方向のエッジとして採用する。ここで、 $|x|$ は、 x の絶対値を表す。

【0463】

次に、注目した位置について検出されたエッジの方向に応じて、そのエッジ部分にある、注目した位置で観測された画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ に対して演算回路 2 4 が行う特別な処理について説明する。

【 0 4 6 4 】

特別な処理とは、式 (2 5) で表される緑色の光量のバネ関係式に画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ を代入する場合に、エッジ部分と判定された位置で観測された画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ については、代入する画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ を変更する処理である。

【 0 4 6 5 】

代入する画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ を変更する処理としては、例えば、以下の第 1 の処理や第 2 の処理を採用することができる。

【 0 4 6 6 】

例えば、第 1 の処理では、注目している、例えば、図 2 8 乃至図 3 1 の白丸 8 3 の位置にエッジが検出された場合、その位置の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ を破棄する。即ち、式 (2 5) で表される緑色の光量のバネ関係式に、エッジが検出された位置の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ を含ませない。この場合、図 2 2 (図 2 3) で説明したバネモデルにおいては、間違った方向 (光量) に引っ張るバネがなくなることになる。従って、より正確な (鮮明な) $L g (I', J')$ を求めることができる。

【 0 4 6 7 】

第 2 の処理では、注目している、例えば、図 2 8 乃至図 3 1 の白丸 8 3 の位置の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ を、上述したエッジの検出において、注目している位置について定義したエッジ判定領域を構成する 9 つの領域 A 0 0 乃至 A 2 2 で観測されている画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ を用いて他の値に置き換え、式 (2 5) で表される緑色の光量のバネ関係式に代入する。

【 0 4 6 8 】

以下に、第 2 の処理を具体的に説明する。

【 0 4 6 9 】

図 3 2 は、図 2 8 で示した、「縦方向のエッジ」が検出された場合の、注目し

ている白丸 8 3 の位置を含む領域 A 1 1 を示している。図中の、1 軸は基準座標系における X 方向を、X 方向と垂直な軸が基準座標系における Y 方向を、X 方向および Y 方向と垂直な軸が画素値を、それぞれ表している。

【0 4 7 0】

図 3 2 では、エッジ判定領域について求められた平均値 EG_0 , EG_0' , EG_0'' と分散 SG_0 , SG_0' が、式「 $EG_0' + SG_0' < EG_0'' < EG_0 - SG_0$ 」を満たし、従って、「縦方向のエッジ」が存在している。

【0 4 7 1】

この場合、黒丸 8 5 の位置 $(I - 0.5, J - 0.5)$ における真の緑色の光量 $L_g(I - 0.5, J - 0.5)$ と、黒丸 8 7 の位置 $(I - 0.5, J + 0.5)$ における真の緑色の光量 $L_g(I - 0.5, J + 0.5)$ とは、注目している白丸 8 3 の位置 (x, y) で観測される画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ よりも大きいと考えられる。また、黒丸 8 5 の位置 $(I - 0.5, J - 0.5)$ における真の緑色の光量 $L_g(I - 0.5, J - 0.5)$ 、または黒丸 8 7 の位置 $(I - 0.5, J + 0.5)$ における真の緑色の光量 $L_g(I - 0.5, J + 0.5)$ それぞれと、白丸 8 3 の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ との光量（画素値）の差は、平均値 EG_0 と EG_0' との差 $(EG_0 - EG_0')$ に依存する。

【0 4 7 2】

また、黒丸 8 4 の位置 $(I + 0.5, J - 0.5)$ における真の緑色の光量 $L_g(I + 0.5, J - 0.5)$ と、黒丸 8 6 の位置 $(I + 0.5, J + 0.5)$ における真の緑色の光量 $L_g(I + 0.5, J + 0.5)$ とは、注目している白丸 8 3 の位置 (x, y) で観測される画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ よりも小さいと考えられる。また、黒丸 8 4 の位置 $(I + 0.5, J - 0.5)$ における真の緑色の光量 $L_g(I + 0.5, J - 0.5)$ 、または黒丸 8 6 の位置 $(I + 0.5, J + 0.5)$ における真の緑色の光量 $L_g(I + 0.5, J + 0.5)$ それぞれと、白丸 8 3 の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ との光量（画素値）の差は、平均値 EG_0 と EG_0' との差 $(EG_0 - EG_0')$ に依存する。

【0473】

そこで、演算回路24は、注目している白丸83の位置 (x, y) の画素値 $G_{obs}(k, ig, jg)$ を通り、X方向に傾き p の平面 $Q1$ を求める。ここで、 $p = (EG0 - EG0') \div 2$ である。つまり、傾き p は、図28の左側領域91の画素値の平均値 $EG0$ と右側領域93の画素値の平均値 $EG0'$ との差を、左側領域91と右側領域92との x 方向の中心位置どうしの距離である2で除算して求められる。傾き p は、縦方向のエッジ部分における、そのエッジと垂直な方向の光量（画素値）の変化の度合い、つまり、エッジの傾きを表す。

【0474】

そして、演算回路24は、黒丸85の位置 $(I - 0.5, J - 0.5)$ における平面 $Q1$ 上の値（画素値）を求め、その値を画素値 $G_{obs0}(k, ig, jg)$ とする。また、演算回路24は、黒丸87の位置 $(I - 0.5, J + 0.5)$ における平面 $Q1$ 上の値（画素値）を求め、その値を画素値 $G_{obs1}(k, ig, jg)$ とする。同様に、演算回路24は、黒丸84の位置 $(I + 0.5, J - 0.5)$ における平面 $Q1$ 上の値（画素値）と、および黒丸86の位置 $(I + 0.5, J + 0.5)$ における平面 $Q1$ 上の値（画素値）を求め、それぞれの値を画素値 $G_{obs2}(k, ig, jg)$ と、画素値 $G_{obs3}(k, ig, jg)$ とする。

【0475】

ここで、平面 $Q1$ は、X方向についてのみ傾き p を有しているので、画素値 $G_{obs0}(k, ig, jg)$ と画素値 $G_{obs1}(k, ig, jg)$ とは等しく、また、画素値 $G_{obs2}(k, ig, jg)$ と画素値 $G_{obs3}(k, ig, jg)$ とは等しい。

【0476】

さて、第3実施の形態では、図22に示したように、ある位置 (I', J') における真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ が、その周辺の位置で観測された画素値 $G_{obs}(k, ig, jg)$ とつりあっている状態を表すバネモデルを考えることにより、式(25)をたてる。位置 (I', J') の周辺の位置で観測された画素値 $G_{obs}(k, ig, jg)$ とは、 k 枚目画像の座標系における位置 $(i$

$g - 0.5, j g - 0.5$) を変換パラメータ ($\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k$) で変換した基準座標系上の位置 (x, y) が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1, J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす $(k, i g, j g)$ の組の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ である。

【0477】

図32において、例えば、黒丸84の位置 $(I + 0.5, J - 0.5)$ を、位置 (I', J') として注目した場合、黒丸84の位置の周辺の位置で観測される画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ として、白丸83の位置 (x, y) の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ が含まれる。従って、第3実施の形態では、式(25)に、白丸83の位置 (x, y) の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ が代入される。

【0478】

これに対して、第6実施の形態では、白丸83の位置 (x, y) の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ の代わりに、注目している黒丸84の位置 $(I + 0.5, J - 0.5)$ における平面Q1上の値(画素値)である画素値 $G o b s 2 (k, i g, j g)$ が、式(25)に代入される。

【0479】

また、黒丸85の位置 $(I - 0.5, J - 0.5)$ を、位置 (I', J') として注目した場合、白丸83の位置 (x, y) の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ の代わりに、注目している黒丸85の位置 $(I - 0.5, J - 0.5)$ における平面Q1上の値(画素値)である画素値 $G o b s 0 (k, i g, j g)$ が、式(25)に代入される。

【0480】

さらに、黒丸86の位置 $(I + 0.5, J + 0.5)$ を、位置 (I', J') として注目した場合、白丸83の位置 (x, y) の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ の代わりに、注目している黒丸86の位置 $(I + 0.5, J + 0.5)$ における平面Q1上の値(画素値)である画素値 $G o b s 3 (k, i g, j g)$ が、式(25)に代入される。

【0481】

また、黒丸87の位置 $(I-0.5, J+0.5)$ を、位置 (I', J') として注目した場合、白丸83の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の代わりに、注目している黒丸87の位置 $(I-0.5, J+0.5)$ における平面Q1上の値（画素値）である画素値 $Gobs1(k, ig, jg)$ が、式(25)に代入される。

【0482】

以上のように、縦方向のエッジ（緑色の光量の急峻な変化）がある位置で観測された画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ （図32の白丸83の位置の画素値）を、そのエッジの傾き（急峻度合い） p に応じた画素値に変更（補正）し、その変更した画素値を式(25)に代入することにより、バネモデルにおいて、図23における物体Vとしての $Lg(I', J')$ が適切な位置に引っ張られ、より正確な（鮮明な）真の緑色の光量 $Lg(I', J')$ を求めることができる。

【0483】

図33は、図29で示した、「横方向のエッジ」が検出された場合の、注目している白丸83の位置を含む領域A11を示している。図中の、1軸は基準座標系におけるX方向を、X方向と垂直な軸が基準座標系におけるY方向を、X方向およびY方向と垂直な軸が画素値を、それぞれ表している。

【0484】

図33では、エッジ判定領域について求められた平均値 $EG1, EG1', EG1''$ と分散 $SG1, SG1'$ が、式「 $EG1' + SG1' < EG1'' < EG1 - SG1$ 」を満たし、従って、「横方向のエッジ」が存在している。

【0485】

この場合、黒丸84の位置 $(I+0.5, J-0.5)$ における真の緑色の光量 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ と、黒丸85の位置 $(I-0.5, J-0.5)$ における真の緑色の光量 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ とは、注目している白丸83の位置 (x, y) で観測される画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ よりも大きいと考えられる。また、黒丸84の位置 $(I+0.5, J-0.5)$ における真の緑色の光量 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 、または黒丸85の位置 $(I-0.5, J-0.5)$ における真の緑色の光量 $Lg(I-0.5, J-0.5)$

． 5) と、白丸 8 3 の位置 (x, y) の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ との光量 (画素値) の差は、平均値 $E G 1$ と $E G 1'$ との差 $(E G 1 - E G 1')$ に依存する。

【 0 4 8 6 】

また、黒丸 8 6 の位置 $(I + 0.5, J + 0.5)$ における真の緑色の光量 $L g (I + 0.5, J + 0.5)$ と、黒丸 8 7 の位置 $(I - 0.5, J + 0.5)$ における真の緑色の光量 $L g (I - 0.5, J + 0.5)$ とは、注目している白丸 8 3 の位置 (x, y) で観測される画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ よりも小さいと考えられる。また、黒丸 8 6 の位置 $(I + 0.5, J + 0.5)$ における真の緑色の光量 $L g (I + 0.5, J + 0.5)$ 、または黒丸 8 7 の位置 $(I - 0.5, J + 0.5)$ における真の緑色の光量 $L g (I - 0.5, J + 0.5)$ それぞれと、白丸 8 3 の位置 (x, y) の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ との光量 (画素値) の差は、平均値 $E G 1$ と $E G 1'$ との差 $(E G 1 - E G 1')$ に依存する。

【 0 4 8 7 】

そこで、演算回路 2 4 は、注目している白丸 8 3 の位置 (x, y) の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ を通り、Y 方向に傾き p の平面 $Q 2$ を求める。ここで、 $p = (E G 1 - E G 1') \div 2$ である。つまり、傾き p は、図 2 9 の上側領域 1 0 1 の画素値の平均値 $E G 1$ と下側領域 1 0 3 の画素値の平均値 $E G 1'$ との差を、上側領域 1 0 1 と下側領域 1 0 3 の y 方向の中心位置どうしの距離である 2 で除算して求められる。傾き p は、横方向のエッジ部分における、そのエッジと垂直な方向の光量 (画素値) の変化の度合い、つまり、エッジの傾きを表す。

【 0 4 8 8 】

そして、演算回路 2 4 は、黒丸 8 5 の位置 $(I - 0.5, J - 0.5)$ における平面 $Q 2$ 上の値 (画素値) を求め、その値を画素値 $G o b s 0 (k, i g, j g)$ とする。また、演算回路 2 4 は、黒丸 8 7 の位置 $(I - 0.5, J + 0.5)$ における平面 $Q 2$ 上の値 (画素値) を求め、その値を画素値 $G o b s 1 (k, i g, j g)$ とする。同様に、演算回路 2 4 は、黒丸 8 4 の位置 $(I + 0.5, J - 0.5)$ における平面 $Q 2$ 上の値 (画素値) と、および黒丸 8 6 の位置 $(I$

+0.5, J+0.5)における平面Q2上の値(画素値)を求め、それぞれの値をそれぞれ画素値Gobs2(k, ig, jg)、画素値Gobs3(k, ig, jg)とする。

【0489】

ここで、平面Q2は、Y方向についてのみ傾きpを有しているので、画素値Gobs0(k, ig, jg)と画素値Gobs2(k, ig, jg)とは等しく、また、画素値Gobs1(k, ig, jg)と画素値Gobs3(k, ig, jg)とは等しい。

【0490】

「横方向のエッジ」においても、図32の「縦方向のエッジ」の場合と同様に、黒丸84の位置(I+0.5, J-0.5)を、位置(I', J')として注目した場合、白丸83の位置(x, y)の画素値Gobs(k, ig, jg)の代わりに、注目している黒丸84の位置(I+0.5, J-0.5)における平面Q2上の値(画素値)である画素値Gobs2(k, ig, jg)が、式(25)に代入される。

【0491】

また、黒丸85の位置(I-0.5, J-0.5)を、位置(I', J')として注目した場合、白丸83の位置(x, y)の画素値Gobs(k, ig, jg)の代わりに、注目している黒丸85の位置(I-0.5, J-0.5)における平面Q2上の値(画素値)である画素値Gobs0(k, ig, jg)が、式(25)に代入される。

【0492】

さらに、黒丸86の位置(I+0.5, J+0.5)を、位置(I', J')として注目した場合、白丸83の位置(x, y)の画素値Gobs(k, ig, jg)の代わりに、注目している黒丸86の位置(I+0.5, J+0.5)における平面Q2上の値(画素値)である画素値Gobs3(k, ig, jg)が、式(25)に代入される。

【0493】

また、黒丸87の位置(I-0.5, J+0.5)を、画素値(I', J')と

して注目した場合、白丸 83 の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の代わりに、位置 (x, y) の黒丸 87 位置 (x, y) のにおける平面 $Q2$ 上の値 (画素値) である画素値 $Gobs1(k, ig, jg)$ が、式 (25) に代入される。

【0494】

以上のように、横方向のエッジ (緑色の光量の急峻な変化) がある位置で観測された画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ (図 33 の白丸 83 の位置の画素値) を、そのエッジの傾き (急峻度合い) p に応じた画素値に変更 (補正) し、その変更した画素値を式 (25) に代入することにより、バネモデルにおいて、図 23 における物体 V としての $Lg(I', J')$ が適切な位置に引っ張られ、より正確な (鮮明な) 真の緑色の光量 $Lg(I', J')$ を求めることができる。

【0495】

図 34 は、図 30 で示した、「左上から右下方向のエッジ」が検出された場合の、注目している白丸 83 の位置を含む領域 $A11$ を示している。図中の、1 軸は基準座標系における X 方向を、 X 方向と垂直な軸が基準座標系における Y 方向を、 X 方向および Y 方向と垂直な軸が画素値を、それぞれ表している。

【0496】

図 34 では、エッジ判定領域について求められた平均値 $EG2, EG2', EG2''$ と分散 $SG2, SG2'$ が、式「 $EG2 + SG2 < EG2'' < EG2' - SG2'$ 」を満たし、従って、「左上から右下方向のエッジ」が存在している。

【0497】

この場合、黒丸 84 の位置 $(I+0.5, J-0.5)$ における真の緑色の光量 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ は、注目している白丸 83 の位置 (x, y) で観測される画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ よりも大きいと考えられる。また、黒丸 84 の位置 $(I+0.5, J-0.5)$ における真の緑色の光量 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ と、白丸 83 の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ との光量 (画素値) の差は、平均値 $EG2'$ と $EG2$ との差 ($EG2' - EG2$) に依存する。

【0498】

また、黒丸 87 の位置 $(I-0.5, J+0.5)$ における真の緑色の光量 $L_g(I-0.5, J+0.5)$ は、注目している白丸 83 の位置 (x, y) で観測される画素値 $Gobs(k, i_g, j_g)$ よりも小さいと考えられる。また、黒丸 87 の位置 $(I-0.5, J+0.5)$ における真の緑色の光量 $L_g(I-0.5, J+0.5)$ と、白丸 83 の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, i_g, j_g)$ との光量 (画素値) の差は、平均値 $EG2'$ と $EG2$ との差 $(EG2' - EG2)$ に依存する。

【0499】

そこで、演算回路 24 は、注目している白丸 83 の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, i_g, j_g)$ を通り、黒丸 84 の位置 $(I+0.5, J-0.5)$ と黒丸 87 の位置 $(I-0.5, J+0.5)$ を結ぶ領域 A11 の対角方向に傾き p の平面 $Q3$ を求める。ここで、 $p = (EG2' - EG2) \div 2\sqrt{2}$ である。つまり、傾き p は、図 30 の右上側領域 113 の画素値の平均値 $EG2'$ と左下側領域 111 の画素値の平均値 $EG2$ との差を、黒丸 84 の位置 $(I+0.5, J-0.5)$ と黒丸 87 の位置 $(I-0.5, J+0.5)$ を結ぶ領域 A11 の対角方向の、右上側領域 113 の領域 A20 と左下側領域 111 の領域 A02 との中心位置どうしの距離である $2\sqrt{2}$ で除算して求められる。傾き p は、左上から右下方向のエッジ部分における、そのエッジと垂直な方向の光量 (画素値) の変化の度合い、つまり、エッジの傾きを表す。

【0500】

そして、演算回路 24 は、黒丸 85 の位置 $(I-0.5, J-0.5)$ における平面 $Q3$ 上の値 (画素値) を求め、その値を画素値 $Gobs0(k, i_g, j_g)$ とする。また、演算回路 24 は、黒丸 87 の位置 $(I-0.5, J+0.5)$ における平面 $Q3$ 上の値 (画素値) を求め、その値を画素値 $Gobs1(k, i_g, j_g)$ とする。同様に、演算回路 24 は、黒丸 84 の位置 $(I+0.5, J-0.5)$ における平面 $Q3$ 上の値 (画素値) と、および黒丸 86 の位置 $(I+0.5, J+0.5)$ における平面 $Q3$ 上の値 (画素値) を求め、それらの値をそれぞれ画素値 $Gobs2(k, i_g, j_g)$ と、画素値 $Gobs3(k, i_g, j_g)$ とする。

【0501】

ここで、平面Q3は、黒丸84の位置 $(I+0.5, J-0.5)$ と黒丸87の位置 $(I-0.5, J+0.5)$ を結ぶ領域A11の対角方向についてのみ傾き p を有しているので、画素値 $Gobs0(k, ig, jg)$ と画素値 $Gobs3(k, ig, jg)$ とは等しい。

【0502】

「左上から右下方向のエッジ」においても、図32の「縦方向のエッジ」の場合と同様に、黒丸84の位置 $(I+0.5, J-0.5)$ を、位置 (I', J') として注目した場合、白丸83の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の代わりに、注目している黒丸84の位置 $(I+0.5, J-0.5)$ における平面Q3上の値（画素値）である画素値 $Gobs2(k, ig, jg)$ が、式(25)に代入される。

【0503】

また、黒丸85の位置 $(I-0.5, J-0.5)$ を、位置 (I', J') として注目した場合、白丸83の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の代わりに、注目している黒丸85の位置 $(I-0.5, J-0.5)$ における平面Q3上の値（画素値）である画素値 $Gobs0(k, ig, jg)$ が、式(25)に代入される。

【0504】

さらに、黒丸86の位置 $(I+0.5, J+0.5)$ を、位置 (I', J') として注目した場合、白丸83の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の代わりに、注目している黒丸86の位置 $(I+0.5, J+0.5)$ における平面Q3上の値（画素値）である画素値 $Gobs3(k, ig, jg)$ が、式(25)に代入される。

【0505】

また、黒丸87の位置 $(I-0.5, J+0.5)$ を、位置 (I', J') として注目した場合、白丸83の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の代わりに、注目している黒丸87の位置 $(I-0.5, J+0.5)$ における平面Q3上の値（画素値）である画素値 $Gobs1(k, ig, jg)$ が、式

(25) に代入される。

【0506】

以上のように、左上から右下方向のエッジ（緑色の光量の急峻な変化）がある位置で観測された画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ （図34の白丸83の位置の画素値）を、そのエッジの傾き（急峻度合い） p に応じた画素値に変更（補正）し、その変更した画素値を式（25）に代入することにより、バネモデルにおいて、図23における物体Vとしての $Lg(I', J')$ が適切な位置に引っ張られ、より正確な（鮮明な）真の緑色の光量 $Lg(I', J')$ を求めることができる。

【0507】

図35は、図31で示した、「右上から左下方向のエッジ」が検出された場合の、注目している白丸83の位置を含む領域A11を示している。図中の、1軸は基準座標系におけるX方向を、X方向と垂直な軸が基準座標系におけるY方向を、X方向およびY方向と垂直な軸が画素値を、それぞれ表している。

【0508】

図35では、エッジ判定領域について求められた平均値 $EG3$, $EG3'$, $EG3''$ と分散 $SG3$, $SG3'$ が、式「 $EG3' + SG3' < EG3'' < EG3 - SG3$ 」を満たし、従って、「右上から左下方向のエッジ」が存在している。

【0509】

この場合、黒丸85の位置 $(I-0.5, J-0.5)$ における真の緑色の光量 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ は、注目している白丸83の位置 (x, y) で観測される画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ よりも大きいと考えられる。また、黒丸85の位置 $(I-0.5, J-0.5)$ における真の緑色の光量 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ と、白丸83の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ との光量（画素値）の差は、平均値 $EG3$ と $EG3'$ との差 $(EG3 - EG3')$ に依存する。

【0510】

また、黒丸86の位置 $(I+0.5, J+0.5)$ における真の緑色の光量 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ は、注目している白丸83の位置 (x, y) で観

測される画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ よりも小さいと考えられる。また、黒丸 8 6 の位置 $(I + 0.5, J + 0.5)$ における真の緑色の光量 $L g (I + 0.5, J + 0.5)$ と、白丸 8 3 の位置 (x, y) の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ との光量 (画素値) の差は、平均値 $E G 3$ と $E G 3'$ との差 $(E G 3 - E G 3')$ に依存する。

【0511】

そこで、演算回路 2 4 は、注目している白丸 8 3 の位置 (x, y) の画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ を通り、黒丸 8 5 の位置 $(I - 0.5, J - 0.5)$ と黒丸 8 6 の位置 $(I + 0.5, J + 0.5)$ を結ぶ領域 A 1 1 の対角方向に傾き p の平面 Q 4 を求める。ここで、 $p = (E G 3 - E G 3') \div 2\sqrt{2}$ である。つまり、傾き p は、図 3 1 の左上側領域 1 2 1 の画素値の平均値 $E G 3$ と右下側領域 1 2 3 の画素値の平均値 $E G 3'$ との差を、黒丸 8 5 の位置 $(I - 0.5, J - 0.5)$ と黒丸 8 6 の位置 $(I + 0.5, J + 0.5)$ を結ぶ領域 A 1 1 の対角方向の、左上側領域 1 2 1 の領域 A 0 0 と右下側領域 1 2 3 の領域 A 2 2 との中心位置どうしの距離である $2\sqrt{2}$ で除算して求められる。傾き p は、右上から左下方向のエッジ部分における、そのエッジと垂直な方向の光量 (画素値) の変化の度合い、つまり、エッジの傾きを表す。

【0512】

そして、演算回路 2 4 は、黒丸 8 5 の位置 $(I - 0.5, J - 0.5)$ における平面 Q 4 上の値 (画素値) を求め、その値を画素値 $G o b s 0 (k, i g, j g)$ とする。また、演算回路 2 4 は、黒丸 8 7 の位置 $(I - 0.5, J + 0.5)$ における平面 Q 4 上の値 (画素値) を求め、その値を画素値 $G o b s 1 (k, i g, j g)$ とする。同様に、演算回路 2 4 は、黒丸 8 4 の位置 $(I + 0.5, J - 0.5)$ における平面 Q 4 上の値 (画素値) と、および黒丸 8 6 の位置 $(I + 0.5, J + 0.5)$ における平面 Q 4 上の値 (画素値) を求め、それらの値をそれぞれ画素値 $G o b s 2 (k, i g, j g)$ と、画素値 $G o b s 3 (k, i g, j g)$ とする。

【0513】

ここで、平面 Q 4 は、黒丸 8 5 の位置 $(I - 0.5, J - 0.5)$ と黒丸 8 6

の位置 $(I+0.5, J+0.5)$ を結ぶ領域 $A11$ の対角方向についてのみ傾き p を有しているので、 $Gobs1(k, ig, jg)$ と $Gobs2(k, ig, jg)$ とは等しい。

【0514】

「右上から左下方向のエッジ」においても、図32の「縦方向のエッジ」の場合と同様に、黒丸84の位置 $(I+0.5, J-0.5)$ を、位置 (I', J') として注目した場合、白丸83の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の代わりに、注目している黒丸84の位置 $(I+0.5, J-0.5)$ における平面 $Q4$ 上の値（画素値）である画素値 $Gobs2(k, ig, jg)$ が、式(25)に代入される。

【0515】

また、黒丸85の位置 $(I-0.5, J-0.5)$ を、位置 (I', J') として注目した場合、白丸83の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の代わりに、注目している黒丸85の位置 $(I-0.5, J-0.5)$ における平面 $Q4$ 上の値（画素値）である画素値 $Gobs0(k, ig, jg)$ が、式(25)に代入される。

【0516】

さらに、黒丸86の位置 $(I+0.5, J+0.5)$ を、位置 (I', J') として注目した場合、白丸83の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の代わりに、注目している黒丸86の位置 $(I+0.5, J+0.5)$ における平面 $Q4$ 上の値（画素値）である画素値 $Gobs3(k, ig, jg)$ が、式(25)に代入される。

【0517】

また、黒丸87の位置 $(I-0.5, J+0.5)$ を、位置 (I', J') として注目した場合、白丸83の位置 (x, y) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の代わりに、注目している黒丸87の位置 $(I-0.5, J+0.5)$ における平面 $Q4$ 上の値（画素値）である画素値 $Gobs1(k, ig, jg)$ が、式(25)に代入される。

【0518】

以上のように、右上から左下方向のエッジ（緑色の光量の急峻な変化）がある位置で観測された画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ （図35の白丸83の位置の画素値）を、そのエッジの傾き（急峻度合い） p に応じた画素値に変更（補正）し、その変更した画素値を式（25）に代入することにより、バネモデルにおいて、図23における物体Vとしての $L g (I', J')$ が適切な位置に引っ張られ、より正確な（鮮明な）真の緑色の光量 $L g (I', J')$ を求めることができる。

【0519】

以上のことから、第3実施の形態の式（25）に対応する、第6実施の形態の緑色の光量のバネ関係式は、次のように表すことができる。

【0520】

なお、緑色以外の真の赤色の光量 $L r (I', J')$ と真の青色の光量 $L b (I', J')$ も、真の緑色の光量 $L g (I', J')$ と同様にして求めることができる。

【0521】

【数34】

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Gobs'(k, ig, jg) - Lg(I', J')\} \right] = 0$$

... (34)

【0522】

ここで、式（34）における Σ は、ある位置 (I', J') に対して、 k 枚目の撮像画像上の位置 $(ig - 0.5, jg - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta k, T k x, T k y, S k)$ で変換した基準座標上の位置 (x, y) が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1$, $J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす (k, ig, jg) の組の個数分の和を表す。

【0523】

但し、式（34）を構成する (k, ig, jg) の組の、ある (k, ig, jg) の画素値 $G o b s (k, ig, jg)$ の位置に、「縦方向のエッジ」、「横方向のエッジ」、「左上から右下方向のエッジ」、「右下から左下方向のエッジ」

」のうちのいずれかが検出された場合、式(34)の $Gobs'(k, ig, jg)$ には、その (k, ig, jg) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の代わりに、エッジの傾き p を有し、画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ を通る平面の、位置 (I', J') 上の値(画素値)が用いられる。また、式(34)を構成する (k, ig, jg) の組の、ある (k, ig, jg) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ の位置に、「縦方向のエッジ」、「横方向のエッジ」、「左上から右下方向のエッジ」、「右下から左下方向のエッジ」のいずれも検出されなかった場合、式(34)の $Gobs'(k, ig, jg)$ には、そのまま (k, ig, jg) の画素値 $Gobs(k, ig, jg)$ が用いられる。

【0524】

第3実施の形態の式(26)、(27)に対応する、第6実施の形態の赤色、青色の光量のバネ関係式も、同様に、式(35)、(36)のように、それぞれ表すことができる。

【0525】

【数35】

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Robs'(k, ir, jr) - Lr(I', J')\} \right] = 0$$

... (35)

【0526】

ここで、式(35)における Σ は、ある位置 (I', J') に対して、 k 枚目の撮像画像上の位置 $(ir - 0.5, jr - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ で変換した基準座標上の位置 (x, y) が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1$, $J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす (k, ir, jr) の組の個数分の和を表す。

【0527】

但し、式(35)を構成する (k, ir, jr) の組の、ある (k, ir, jr) の画素値 $Robs(k, ir, jr)$ の位置に、「縦方向のエッジ」、「横方向のエッジ」、「左上から右下方向のエッジ」、「右下から左下方向のエッジ」のうちのいずれかが検出された場合、式(35)の $Robs'(k, ir, j$

r) には、その (k, i_r, j_r) の画素値 R o b s (k, i_r, j_r) の代わりに、エッジの傾き p を有し、画素値 R o b s (k, i_r, j_r) を通る平面の、位置 (I' , J') 上の値 (画素値) が用いられる。また、式 (35) を構成する (k, i_g, j_g) の組の、ある (k, i_g, j_g) の画素値 G o b s (k, i_g, j_g) の位置に、「縦方向のエッジ」、「横方向のエッジ」、「左上から右下方向のエッジ」、「右下から左下方向のエッジ」のいずれも検出されなかった場合、式 (35) の R o b s' (k, i_r, j_r) には、そのまま (k, i_r, j_r) の画素値 R o b s (k, i_r, j_r) が用いられる。

【0528】

【数36】

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Bobs'(k, ib, jb) - Lb(I', J')\} \right] = 0$$

. . . (36)

【0529】

ここで、式 (36) における Σ は、ある位置 (I' , J') に対して、k 枚目の撮像画像上の位置 (i_b - 0.5, j_b - 0.5) を変換パラメータ (θ_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k) で変換した基準座標上の位置 (x, y) が、I' - 1 ≤ x < I' + 1, J' - 1 ≤ y < J' + 1 を満たす (k, i_b, j_b) の組の個数分の和を表す。

【0530】

但し、式 (36) を構成する (k, i_b, j_b) の組の、ある (k, i_b, j_b) の画素値 B o b s (k, i_b, j_b) の位置に、「縦方向のエッジ」、「横方向のエッジ」、「左上から右下方向のエッジ」、「右下から左下方向のエッジ」のうちのいずれかが検出された場合、式 (36) の B o b s' (k, i_b, j_b) には、その (k, i_b, j_b) の画素値 B o b s (k, i_b, j_b) の代わりに、エッジの傾き p を有し、画素値 B o b s (k, i_b, j_b) を通る平面の、位置 (I' , J') 上の値 (画素値) が用いられる。また、式 (36) を構成する (k, i_g, j_g) の組の、ある (k, i_g, j_g) の画素値 G o b s (k, i_g, j_g) の位置に、「縦方向のエッジ」、「横方向のエッジ」、「左上から

右下方向のエッジ」、「右下から左下方向のエッジ」のいずれも検出されなかった場合、式(36)の $B o b s' (k, i b, j b)$ には、そのまま $(k, i b, j b)$ の画素値 $B o b s (k, i b, j b)$ が用いられる。

【0531】

図36のフローチャートを参照して、図2のステップS4における画像推定処理の第6実施の形態について説明する。

【0532】

初めに、ステップS141において、演算回路24は、基準座標系上のある位置 (I', J') に注目する（以下、注目位置 (I', J') と称する）。ここで、注目位置 (I', J') は、基準画像である1枚目の撮像画像の「i番目、j番目の画素」の画素中心 $(i - 0.5, j - 0.5)$ を表している。

【0533】

そして、ステップS141からS142に進み、演算回路24は、注目位置 (I', J') に対して、k枚目画像の緑色の成分を受光する画素の中心位置 $(i g - 0.5, j g - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta k, T k x, T k y, S k)$ で変換した基準座標系上の位置 (x, y) が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1, J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす $(k, i g, j g)$ の組を、1乃至N枚目画像についてすべて求め、ステップS143に進む。

【0534】

ステップS143において、演算回路24は、ステップS142で求めた $(k, i g, j g)$ の組それぞれに対応する基準座標系上の位置について、「縦方向のエッジ」、「横方向のエッジ」、「左上から右下方向のエッジ」、「右下から左下方向のエッジ」のうちのいずれかがあるかどうかを判定する。ステップS143で、上述の4つの方向のいずれかのエッジがあると判定された場合、ステップS144に進み、演算回路24は、エッジがある位置に対応する $(k, i g, j g)$ の組それぞれについて、その画素値 $G o b s (k, i g, j g)$ を通り、エッジの傾き p を有する平面を作成する（求める）。また、演算回路24は、注目位置 (I', J') における平面上の値（画素値）を演算し、ステップS144からS145に進む。

【0535】

また、ステップS143で上述の4つの方向のいずれのエッジもないと判定された場合、または、ステップS144の処理の後、ステップS145において、演算回路24は、ステップS142で求めたすべての (k, i_g, j_g) の組を用いて、式(34)で表される緑色の光量のバネ関係式を生成して、ステップS146に進む。ここで、ステップS143において、ある (k, i_g, j_g) に対応する基準座標系上の位置に、上述の4つの方向のいずれかのエッジがあると判定された画素値 $Gobs(k, i_g, j_g)$ については、演算回路24は、ステップS144で求められた注目位置 (I', J') における平面上の値(画素値)を、その (k, i_g, j_g) の画素値 $Gobs(k, i_g, j_g)$ として、式(34)の $Gobs'(k, i_g, j_g)$ に代入する。また、ステップS143において、ある (k, i_g, j_g) に対応する基準座標系上の位置に、上述の4つの方向のいずれのエッジもないと判定された画素値 $Gobs(k, i_g, j_g)$ については、演算回路24は、その (k, i_g, j_g) の画素値 $Gobs(k, i_g, j_g)$ を、そのまま式(34)の $Gobs'(k, i_g, j_g)$ に代入する。

【0536】

ステップS146において、演算回路24は、注目位置 (I', J') に対して、 k 枚目画像の赤色の成分を受光する画素の中心位置 $(i_r - 0.5, j_r - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta_k, Tk_x, Tk_y, Sk)$ で変換した基準座標系上の位置 (x, y) が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1, J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす (k, i_r, j_r) の組を、1乃至 N 枚目画像についてすべて求め、ステップS147に進む。

【0537】

ステップS147において、演算回路24は、ステップS146で求めた (k, i_r, j_r) の組それぞれに対応する基準座標系上の位置について、「縦方向のエッジ」、「横方向のエッジ」、「左上から右下方向のエッジ」、「右下から左下方向のエッジ」のうちのいずれかがあるかどうかを判定する。ステップS147で、上述の4つの方向のいずれかのエッジがあると判定された場合、ステッ

プS148に進み、演算回路24は、エッジがある位置に対応する (k, i_r, j_r) の組それぞれについて、その画素値 $Rob_s(k, i_r, j_r)$ を通り、エッジの傾き p を有する平面を作成する(求める)。また、演算回路24は、注目位置 (I', J') における平面上の値(画素値)を演算し、ステップS148からS149に進む。

【0538】

また、ステップS147で上述の4つの方向のいずれのエッジもないと判定された場合、および、ステップS148の処理の後、ステップS149において、演算回路24は、ステップS146で求めたすべての (k, i_r, j_r) の組を用いて、式(35)で表される赤色の光量のバネ関係式を生成して、ステップS150に進む。ここで、ステップS147において、ある (k, i_r, j_r) に対応する基準座標系上の位置に、上述の4つの方向のいずれかのエッジがあると判定された画素値 $Rob_s(k, i_r, j_r)$ については、演算回路24は、ステップS148で求められた注目位置 (I', J') における平面上の値(画素値)を、その (k, i_r, j_r) の画素値 $Rob_s(k, i_r, j_r)$ として、式(35)の $Rob_s'(k, i_r, j_r)$ に代入する。また、ステップS147において、ある (k, i_r, j_r) に対応する基準座標系上の位置に、上述の4つの方向のいずれのエッジもないと判定された画素値 $Rob_s(k, i_r, j_r)$ については、演算回路24は、その (k, i_r, j_r) の画素値 $Rob_s(k, i_r, j_r)$ を、そのまま式(35)の $Rob_s'(k, i_r, j_r)$ に代入する。

【0539】

ステップS150において、演算回路24は、注目位置 (I', J') に対して、 k 枚目画像の青色の成分を受光する画素の中心位置 $(i_b - 0.5, j_b - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta_k, Tk_x, Tk_y, Sk)$ で変換した基準座標系上の位置 (x, y) が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1$, $J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす (k, i_b, j_b) の組を、1乃至 N 枚目画像についてすべて求め、ステップS151に進む。

【0540】

ステップS151において、演算回路24は、ステップS152で求めた (k, i_b, j_b) の組それぞれに対応する基準座標系上の位置について、「縦方向のエッジ」、「横方向のエッジ」、「左上から右下方向のエッジ」、「右下から左下方向のエッジ」のうちのいずれかがあるかどうかを判定する。ステップS151で、上述の4つの方向のいずれかのエッジがあると判定された場合、ステップS152に進み、演算回路24は、エッジがある位置に対応する (k, i_b, j_b) の組それぞれについて、その画素値 $Bobs(k, i_b, j_b)$ を通り、エッジの傾き p を有する平面を作成する(求める)。また、演算回路24は、注目位置 (I', J') における平面上の値(画素値)を演算し、ステップS152からS153に進む。

【0541】

また、ステップS151で上述の4つの方向のいずれのエッジもないと判定された場合、および、ステップS152の処理の後、ステップS153において、演算回路24は、ステップS150で求めたすべての (k, i_b, j_b) の組を用いて、式(36)で表される青色の光量のバネ関係式を生成して、ステップS154に進む。ここで、ステップS151において、ある (k, i_b, j_b) に対応する基準座標系上の位置に、上述の4つの方向のいずれかのエッジがあると判定された画素値 $Bobs(k, i_b, j_b)$ については、演算回路24は、ステップS152で求められた注目位置 (I', J') における平面上の値(画素値)を、その (k, i_b, j_b) の画素値 $Bobs(k, i_b, j_b)$ として、式(36)の $Bobs'(k, i_b, j_b)$ に代入する。また、ステップS151において、ある (k, i_b, j_b) に対応する基準座標系上の位置に、上述の4つの方向のいずれのエッジもないと判定された画素値 $Bobs(k, i_b, j_b)$ については、演算回路24は、その (k, i_b, j_b) の組の画素値 $Bobs(k, i_b, j_b)$ を、そのまま式(36)の $Bobs'(k, i_b, j_b)$ に代入する。

【0542】

ステップS154において、演算回路24は、ステップS145で求めた式(34)で表される緑色の光量のバネ関係式、ステップS149で求めた式(35

）で表される赤色の光量のバネ関係式、ステップS153で求めた式(36)で表される青色の光量のバネ関係式を、一次方程式として解くことにより、注目位置 (I', J') における真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ をそれぞれ求め、ステップS155に進む。

【0543】

ステップS155において、演算回路24は、すべての位置 (I', J') を注目位置としたか、即ち、1枚目の撮像画像の画素の中心位置のすべてを注目位置 (I', J') として、真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ を求めたか否かを判定する。

【0544】

ステップS155で、すべての位置 (I', J') を、まだ注目位置として求めていると判定された場合、ステップS141に戻り、ステップS141乃至S155の処理が繰り返される。即ち、演算回路24は、まだ注目していない位置 (I', J') を次の注目位置 (I', J') として、注目位置 (I', J') における真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ をそれぞれ求める。

【0545】

一方、ステップS155で、すべての位置 (I', J') を注目位置としたと判定された場合、ステップS156に進み、演算回路24は、ステップS154で求めた真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、真の青色の光量 $L_b(I', J')$ から、画像(信号)を推定し、D/Aコンバータ9またはコーデック12に結果画像として供給し、処理を戻る。例えば、「i番目、j番目の画素」においては、演算回路24は、緑色の値(G信号)としてステップS154で求めた真の緑色の光量 $L_g(i-0.5, j-0.5)$ と、赤色の値(R信号)としてステップS154で求めた真の赤色の光量 $L_r(i-0.5, j-0.5)$ と、青色の値(B信号)としてステップS154で求めた真の青色の光量 $L_b(i-0.5, j-0.5)$ とから、「i番目、j番目

の画素」の画像信号を推定する。そして、演算回路 24 は、その推定を位置 (I' , J') を中心位置とする画素すべてについて行うことにより、結果画像を推定する。

【0546】

以上のように、第 6 実施の形態では、エッジ部分の位置で観測された画素値については、そのエッジの傾き（急峻度合い）に応じて、バネ関係式に代入する画素値を変更することにより、より正確な（鮮明な）画像を求めることができる。

【0547】

なお、上述した例では、エッジ部分にある画素値をエッジの傾き（急峻度合い）に応じた注目位置 (I' , J') 上の画素値に変更したが、その他、例えば、エッジ部分にある画素値をそのまま採用するが、注目位置 (I' , J') までの距離に応じて重みを付け（変更し）、バネ関係式でのエッジ部分にある画素値の影響を少なくするようにすることもできる。

【0548】

（第 7 実施の形態）

次に、信号処理回路 7 における、画像推定処理の第 7 実施の形態について説明する。第 7 実施の形態は、図 24 で説明した第 3 実施の形態を応用したものである。

【0549】

即ち、第 7 実施の形態は、第 3 実施の形態において、式 (25), (26), (27) で表されるバネ関係式の他に、R 信号と G 信号と B 信号どうしの相関に関する色相関の条件を付加して、それらすべての条件式を満たす真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ を求めるものである。

【0550】

画像の局所的な部分に着目すれば、撮像素子 4 に入射される被写体の光と等価な真の緑色の光量 $L_g(x, y)$ 、真の赤色の光量 $L_r(x, y)$ 、真の青色の光量 $L_b(x, y)$ には、色どうしの相関がある。従って、画像推定処理により推定される画像についても色相関があるとして、その色相関の条件をさらに付加

することにより、ノイズ等による誤差を軽減した、より正確な解、即ち、より本来の光に忠実で鮮明な画像を求めることができる。

【0551】

図37と図38を参照して、具体的な色相関の条件を求める方法について説明する。図37と図38では、緑色（G信号）と赤色（R信号）の色相関の条件を考える。

【0552】

図37左下側の k' 枚目画像の i_g 番目、 j_g 番目の、ある緑色の画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ と、図37右下側の k'' 枚目画像の i_r 番目、 j_r 番目の、ある赤色の画素 $R(j_r - 1)(i_r - 1)$ に注目する。

【0553】

演算回路24は、 k' 枚目画像の緑色の画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ と k'' 枚目画像の赤色の画素 $R(j_r - 1)(i_r - 1)$ の位置を、第3実施の形態で説明したように、変換パラメータ $(\theta_{k'}, T_{k'} x, T_{k'} y, S_{k'})$ と変換パラメータ $(\theta_{k''}, T_{k''} x, T_{k''} y, S_{k''})$ によりそれぞれ変換することで、図37上側の1枚目画像の座標系における位置を求める。

【0554】

そして、演算回路24は、1枚目画像の座標系に変換された k' 枚目の緑色の画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ と1枚目画像の座標系に変換された k'' 枚目の赤色の画素 $R(j_r - 1)(i_r - 1)$ との距離を計算する。さらに、演算回路24は、その距離が、同一の位置とみなす許容値（判定値） δ （例えば、0.25画素）以内であるかどうかを判定する。

【0555】

例えば、画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ と画素 $R(j_r - 1)(i_r - 1)$ の位置を、位置 (i_g, j_g) と位置 (i_r, j_r) で、それぞれ考えることとして、 k' 枚目画像の座標系における画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ の位置 (i_g, j_g) を点 G_c と、 k'' 枚目画像の座標系における画素 $R(j_r - 1)(i_r - 1)$ の位置 (i_r, j_r) を点 R_c と、1枚目画像の座標系における画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ の位置 (i_g, j_g) を $G_c(k')$ と、1枚目画像の

座標系における画素 $R(jg-1)(ig-1)$ の位置 (ir, jr) を $R_c(k'')$ と、それぞれ表すこととすると、点 $G_c(k')$ と点 $R_c(k'')$ との距離が許容値 δ 以内であることを表す式 (37) は、次のように書ける。

【0556】

【数37】

$$\begin{aligned} & \text{Dis}[G_c(k'), R_c(k'')] \\ &= \text{Dis} \left[S_{k'} \begin{pmatrix} \cos(\theta_{k'}) & -\sin(\theta_{k'}) \\ \sin(\theta_{k'}) & \cos(\theta_{k'}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ig \\ jg \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_{k'}x \\ T_{k'}y \end{pmatrix}, \right. \\ & \quad \left. S_{k''} \begin{pmatrix} \cos(\theta_{k''}) & -\sin(\theta_{k''}) \\ \sin(\theta_{k''}) & \cos(\theta_{k''}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ir \\ jr \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_{k''}x \\ T_{k''}y \end{pmatrix} \right] \leq \delta \\ & \quad \dots (37) \end{aligned}$$

【0557】

式 (37) を距離の条件式と称する。ここで、 $\text{Dis}[G_c(k'), R_c(k'')]$ は、点 $G_c(k')$ と点 $R_c(k'')$ との間の距離を表す。また、点 $G_c(k')$ と点 $R_c(k'')$ で表される位置は、位置 (ig, jg) と位置 (ir, jr) を、変換パラメータ $(\theta_{k'}, T_{k'}x, T_{k'}y, S_{k'})$ と $(\theta_{k''}, T_{k''}x, T_{k''}y, S_{k''})$ でそれぞれアフィン変換したものである。

【0558】

演算回路 24 は、 k' 枚目の緑色の画素 $G(jg-1)(ig-1)$ と k'' 枚目の赤色の画素 $R(jr-1)(ir-1)$ とが、ある許容範囲 δ のマージンを考えたときに同一位置にあるとみなすことができる画素があるかどうかを、1 枚目画像の座標系における、ある位置 (I', J') を中心とする $(I' \pm dX, J' \pm dY)$ の近傍領域、つまり、 $(I' - dX, J' - dY)$ 、 $(I' - dX, J' + dY)$ 、 $(I' + dX, J' - dY)$ 、および $(I' + dX, J' + dY)$ で囲まれる領域について求める。ここで、 dX と dY は、それぞれ、近傍領域を設定する所定の値で、例えば、2 画素分の X 方向と Y 方向の長さなどとすることができる。

【0559】

逆に言うと、演算回路24は、1枚目画像の座標系における、注目位置 (I', J') を中心とする $(I' \pm dX, J' \pm dY)$ の近傍領域、つまり、 $(I' - dX, J' - dY)$ 、 $(I' - dX, J' + dY)$ 、 $(I' + dX, J' - dY)$ 、および $(I' + dX, J' + dY)$ で囲まれる領域において、上述の式 (37) を満たす (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) を求める。

【0560】

そして、演算回路24は、求められた (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) とに対応する画素値 $Gobs(k', i_g, j_g)$ と画素値 $Rob s(k'', i_r, j_r)$ とを得る。

【0561】

演算回路24は、 k' 、 k'' それぞれを1乃至Nとしたすべての組み合わせについて、上述の式 (37) を満たす (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) を求める。

【0562】

一般的には、複数の (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) との組み合わせが検出されるので、演算回路24は、検出された (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) とに対応する画素値 $Gobs(k', i_g, j_g)$ と画素値 $Rob s(k'', i_r, j_r)$ とを、図38に示すように、横軸をG信号 ($Gobs(k', i_g, j_g)$)、縦軸をR信号 ($Rob s(k'', i_r, j_r)$) とするGR空間にプロットする。

【0563】

図38は、式 (37) を満たす画素値 $Gobs(k', i_g, j_g)$ と画素値 $Rob s(k'', i_r, j_r)$ とのセットで表される点をプロットしたGR空間を示している。

【0564】

図38のバツ印が、演算回路24により検出された (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) とに対応する画素値 $Gobs(k', i_g, j_g)$ と画素値 $Rob s(k'', i_r, j_r)$ との組、即ち、式 (37) を満たす画素値 $Gobs(k', i_g, j_g)$ と画素値 $Rob s(k'', i_r, j_r)$ との組を表している。

【0565】

注目位置 (I', J') の近傍領域においては、求めるべき真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、および真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ には、図38に示したような相関があると考えられる。

【0566】

そこで、第7の実施の形態においては、第3実施の形態における式(25)乃至式(27)で表されるバネ関係式の他に、さらに、図38に示した緑色と赤色に相関があることを条件として付加する。

【0567】

即ち、演算回路24は、演算回路24により式(37)の距離の条件式を満たす画素値 $G_{obs}(k', i_g, j_g)$ と画素値 $R_{obs}(k'', i_r, j_r)$ との組で表される、図38のGR空間にプロットされた複数の点について、主成分分析を行う。

【0568】

そして、演算回路24は、主成分分析の分析結果である主成分の方向を求め、その方向(軸)を表す直線 $Q_g \times G + Q_r \times R = Q_c$ を求める。ここで、 Q_g 、 Q_r 、 Q_c は、GR空間上の直線を表す定数であり、 G と R は、GR空間上のG信号とR信号を表す変数である。また、演算回路24は、主成分の方向と直交する成分についての分散を求める。

【0569】

ここで、自然長が0で、バネ定数(バネの強さ)がHのバネを導入する。バネ定数Hは、GR空間上で求められた主成分の方向と直交する成分についての分散に対して、単調減少する任意の関数とすることができ、例えば、 $H = (1 \div \text{分散})$ などを採用することができる。つまり、分散が小さいほどバネが強く(バネ定数が大きく)なる。

【0570】

このバネ定数Hのバネの両端の一端は、GR空間上での点 $(L_g(I', J'), L_r(I', J'))$ に接続され、バネの他端は、主成分の方向の直線 Q_g

$\times G + Q_r \times R = Q_c$ 上の任意の点に移動可能なように接続される。これにより、点 $(L_g(I', J'), L_r(I', J'))$ は、その点 $(L_g(I', J'), L_r(I', J'))$ から直線 $Q_g \times G + Q_r \times R = Q_c$ に垂らした垂線の方法へ引っ張られる。つまり、点 $(L_g(I', J'), L_r(I', J'))$ は、色相関の一致性 (G 信号と R 信号の色相関の関係) が満たされるように引っ張られる。

【0571】

ここで、点 $(L_g(I', J'), L_r(I', J'))$ と主成分の方向の直線 $Q_g \times G + Q_r \times R = Q_c$ との距離を u と表すと、バネ定数 H のバネが、点 $(L_g(I', J'), L_r(I', J'))$ を引っ張る力は、 $H \times u$ (以下、適宜、GRバネ力という) で表される。この GR 空間における GR バネ力 $H \times u$ を、G 信号成分と R 信号成分に分解し、式 (25) と式 (26) それぞれの左辺に加算対象として付加することにより、色相関が考慮されることになる。

【0572】

以上の色相関の条件を、緑色 (G 信号) と青色 (B 信号) についても考える。

【0573】

図 37 に示した緑色と赤色の画素の場合と同様に、演算回路 24 は、 k' 枚目の緑色の画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ と k'' 枚目の青色の画素 $B(j_b - 1)(i_b - 1)$ の位置を、変換パラメータ $(\theta_{k'}, T_{k'}^x, T_{k'}^y, S_{k'})$ と変換パラメータ $(\theta_{k''}, T_{k''}^x, T_{k''}^y, S_{k''})$ によりそれぞれ変換することで、1 枚目画像の座標系における位置を求める。

【0574】

そして、演算回路 24 は、1 枚目画像の座標系に変換された k' 枚目の緑色の画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ と 1 枚目画像の座標系に変換された k'' 枚目の青色の画素 $B(j_b - 1)(i_b - 1)$ との距離を計算する。さらに、演算回路 24 は、その距離が、同一の位置にいるとみなす許容値 (判定値) δ 以内であるかどうかを判定する。

【0575】

例えば、画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ と画素 $B(j_b - 1)(i_b - 1)$

の位置を、位置 (i_g, j_g) と位置 (i_b, j_b) で、それぞれ考えることとして、 k' 枚目画像の座標系における画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ の位置 (i_g, j_g) を点 G_c と、 k''' 枚目画像の座標系における画素 $B(j_b - 1)(i_b - 1)$ の位置 (i_b, j_b) を点 B_c と、1枚目画像の座標系における画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ の位置 (i_g, j_g) を $G_c(k')$ と、1枚目画像の座標系における画素 $B(j_b - 1)(i_b - 1)$ の位置 (i_b, j_b) を $B_c(k''')$ と、それぞれ表すこととすると、点 $G_c(k')$ と点 $B_c(k''')$ との距離が許容値 δ 以内であることを表す式 (38) は、次のように書ける。

【0576】

【数38】

$$\begin{aligned} & \text{Dis}[G_c(k'), B_c(k''')] \\ &= \text{Dis} \left[S_{k'} \begin{pmatrix} \cos(\theta_{k'}) & -\sin(\theta_{k'}) \\ \sin(\theta_{k'}) & \cos(\theta_{k'}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_g \\ j_g \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_{k'} x \\ T_{k'} y \end{pmatrix}, \right. \\ & \quad \left. S_{k'''} \begin{pmatrix} \cos(\theta_{k'''}) & -\sin(\theta_{k'''}) \\ \sin(\theta_{k'''}) & \cos(\theta_{k'''}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_b \\ j_b \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_{k'''} x \\ T_{k'''} y \end{pmatrix} \right] \leq \delta \\ & \quad \dots (38) \end{aligned}$$

【0577】

式 (38) を距離の条件式と称する。ここで、 $\text{Dis}[G_c(k'), B_c(k''')]$ は、点 $G_c(k')$ と点 $B_c(k''')$ との間の距離を表す。また、点 $G_c(k')$ と点 $B_c(k''')$ で表される位置は、位置 (i_g, j_g) と位置 (i_b, j_b) を、変換パラメータ $(\theta_{k'}, T_{k'} x, T_{k'} y, S_{k'})$ と $(\theta_{k'''}, T_{k'''} x, T_{k'''} y, S_{k'''})$ でそれぞれアフィン変換したものである。

【0578】

演算回路 24 は、 k' 枚目の緑色の画素 $G(j_g - 1)(i_g - 1)$ と k''' 枚目の青色の画素 $B(j_b - 1)(i_b - 1)$ とが、ある許容範囲 δ のマージンを考えたときに同一位置にあるとみなすことができる画素があるかどうかを、1枚目画像の座標系における、ある位置 (I', J') を中心とする $(I' \pm dX, J' \pm dY)$ の近傍領域、つまり、 $(I' - dX, J' - dY)$ 、 $(I'$

$-dX, J' + dY)$, $(I' + dX, J' - dY)$, および $(I' + dX, J' + dY)$ で囲まれる領域について求める。ここで、 dX, dY は、それぞれ、近傍領域を設定する所定の値で、例えば、2画素分のX方向とY方向の長さなどとすることができる。

【0579】

逆に言うと、演算回路24は、1枚目画像の座標系における、注目位置 (I', J') を中心とする $(I' \pm dX, J' \pm dY)$ の近傍領域、つまり、 $(I' - dX, J' - dY)$, $(I' - dX, J' + dY)$, $(I' + dX, J' - dY)$, および $(I' + dX, J' + dY)$ で囲まれる領域において、上述の式(38)を満たす (k', ig, jg) と (k'', ib, jb) を求める。

【0580】

そして、演算回路24は、求められた (k', ig, jg) と (k'', ib, jb) とに対応する画素値 $Gobs(k', ig, jg)$ と画素値 $Bobs(k'', ib, jb)$ とを得る。

【0581】

演算回路24は、 k', k'' それぞれを1乃至Nとしたすべての組み合わせについて、上述の式(38)を満たす (k', ig, jg) と (k'', ib, jb) を求める。

【0582】

一般的には、複数の (k', ig, jg) と (k'', ib, jb) との組み合わせが検出されるので、演算回路24は、検出された (k', ig, jg) と (k'', ib, jb) とに対応する画素値 $Gobs(k', ig, jg)$ と画素値 $Bobs(k'', ib, jb)$ とを、横軸をG信号 ($Gobs(k', ig, jg)$)、縦軸をB信号 ($Bobs(k'', ib, jb)$) とするGB空間にプロットする。

【0583】

そこで、第7の実施の形態においては、第3実施の形態における式(25)乃至式(27)で表されるバネ関係式の他に、さらに、緑色と青色に相関があることを条件として付加する。

【0584】

即ち、演算回路24は、演算回路24により式(38)の距離の条件式を満たす画素値 $Gobs(k', ig, jg)$ と画素値 $Bobs(k'', ib, jb)$ との組で表される、GB空間にプロットされた複数の点について、主成分分析を行う。

【0585】

そして、演算回路24は、主成分分析の分析結果である主成分の方向を求め、その方向(軸)を表す直線 $Qg' \times G + Qb' \times B = Qc'$ を求める。ここで、 Qg' 、 Qb' 、 Qc' は、GB空間上の直線を表す定数であり、GとBは、GB空間上のG信号とB信号を表す変数である。また、演算回路24は、主成分の方向と直交する成分についての分散を求める。

【0586】

ここで、自然長が0で、バネ定数(バネの強さ)がHのバネを導入する。バネ定数Hは、GB空間上で求められた主成分の方向と直交する成分についての分散に対して、単調減少する任意の関数とすることができ、例えば、 $H = (1 \div \text{分散})$ などを採用することができる。つまり、分散が小さいほどバネが強く(バネ定数が大きく)なる。

【0587】

このバネ定数Hのバネの両端の一端は、GB空間上での点 $(Lg(I', J'), Lb(I', J'))$ に接続され、バネの他端は、主成分の方向の直線 $Qg' \times G + Qb' \times B = Qc'$ 上の任意の点に移動可能なように接続される。これにより、点 $(Lg(I', J'), Lb(I', J'))$ は、その点 $(Lg(I', J'), Lb(I', J'))$ から直線 $Qg' \times G + Qb' \times B = Qc'$ に垂らした垂線の方へ引っ張られる。つまり、点 $(Lg(I', J'), Lb(I', J'))$ は、色相関の一致性(G信号とB信号の色相関の関係)が満たされるように引っ張られる。

【0588】

ここで、点 $(Lg(I', J'), Lb(I', J'))$ と主成分の方向の直線 $Qg' \times G + Qb' \times B = Qc'$ との距離をuと表すと、バネ定数Hのバネが

、点 $(L_g(I', J'), L_b(I', J'))$ を引っ張る力は、 $H \times u$ (以下、適宜、GBバネ力という) で表される。このGB空間におけるGBバネ力 $H \times u$ を、G信号成分とB信号成分に分解し、式(25)と式(27)それぞれの左辺に加算対象として付加することにより、色相関が考慮されることになる。

【0589】

なお、本実施の形態では、上述のGR、GB空間の2つの色相関の条件のみ付加することとするが、同様にして、R信号とB信号との(RB空間の)色相関の条件についても付加するようにしてもよい。

【0590】

図39のフローチャートを参照して、図2のステップS4における画像推定処理の第7実施の形態について説明する。

【0591】

ステップS171乃至S177は、図24に示した第3実施の形態の画像推定処理のステップS71乃至S77と同様である。

【0592】

即ち、ステップS171において、演算回路24は、基準座標系上のある位置 (I', J') に注目する(以下、注目位置 (I', J') と称する)。ここで、注目位置 (I', J') は、基準画像である1枚目の撮像画像の「i番目、j番目の画素」の画素中心 $(i-0.5, j-0.5)$ を表している。

【0593】

そして、ステップS171からS172に進み、演算回路24は、注目位置 (I', J') に対して、k枚目画像の緑色の成分を受光する画素の中心位置 $(i_g-0.5, j_g-0.5)$ を変換パラメータ $(\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k)$ で変換した基準座標系上の位置 (x, y) が、 $I'-1 \leq x < I'+1, J'-1 \leq y < J'+1$ を満たす (k, i_g, j_g) の組を、1乃至N枚目画像についてすべて求め、ステップS173に進む。

【0594】

ステップS173において、演算回路24は、ステップS172で求めたすべての (k, i_g, j_g) の組を用いて、式(25)で表される緑色の光量のバネ

関係式を生成して、ステップS174に進む。

【0595】

ステップS174において、演算回路24は、注目位置 (I', J') に対して、 k 枚目画像の赤色の成分を受光する画素の中心位置 $(i_r - 0.5, j_r - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k)$ で変換した基準座標系上の位置 (x, y) が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1, J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす (k, i_r, j_r) の組を、1乃至 N 枚目画像についてすべて求め、ステップS175に進む。

【0596】

ステップS175において、演算回路24は、ステップS174で求めたすべての (k, i_r, j_r) の組を用いて、式(26)で表される赤色の光量のバネ関係式を生成して、ステップS176に進む。

【0597】

ステップS176において、演算回路24は、注目位置 (I', J') に対して、 k 枚目画像の青色の成分を受光する画素の中心位置 $(i_b - 0.5, j_b - 0.5)$ を変換パラメータ $(\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k)$ で変換した基準座標系上の位置 (x, y) が、 $I' - 1 \leq x < I' + 1, J' - 1 \leq y < J' + 1$ を満たす (k, i_b, j_b) の組を、1乃至 N 枚目画像についてすべて求め、ステップS177に進む。

【0598】

ステップS177において、演算回路24は、ステップS176で求めたすべての (k, i_b, j_b) の組を用いて、式(27)で表される青色の光量のバネ関係式を生成して、ステップS178に進む。

【0599】

ステップS178において、演算回路24は、注目位置 (I', J') を中心とする $(I' \pm dX, J' \pm dY)$ で規定される領域において、式(37)を満たす (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) との組をすべて求める。さらに、演算回路24は、その求めた (k', i_g, j_g) と (k'', i_r, j_r) との組特定されるGR空間上の点 $(Gobs(k', i_g, j_g), Robs(k'',$

$i_r, j_r)$ をプロットし、主成分分析を行う。また、演算回路24は、その主成分方向と直交する成分の分散を求め、その分散の逆数をバネ定数 H として求める。そして、演算回路24は、主成分方向を表す直線 $Q_g \times G + Q_r \times R = Q_c$ を求め、 GR 空間上での点 $(L_g(I', J'), L_r(I', J'))$ と、直線 $Q_g \times G + Q_r \times R = Q_c$ との距離 u を用いて表される未知数としての GR バネ力 $H \times u$ を得る。さらに、演算回路24は、 GR バネ力 $H \times u$ の G 信号成分を式(25)の左辺の加算対象に加えるとともに、 GR バネ力 $H \times u$ の R 信号成分を式(26)の左辺に加算対象として加える。そして、ステップS178からS179に進む。

【0600】

ステップS179において、演算回路24は、注目位置 (I', J') を中心とする $(I' \pm dX, J' \pm dY)$ で規定される領域において、式(38)を満たす (k', i_g, j_g) と (k'', i_b, j_b) との組をすべて求める。さらに、演算回路24は、その求めた (k', i_g, j_g) と (k'', i_b, j_b) との組特定される GB 空間上の点 $(Gobs(k', i_g, j_g), Bobs(k'', i_b, j_b))$ をプロットし、主成分分析を行う。また、演算回路24は、その主成分方向と直交する成分の分散を求め、その分散の逆数をバネ定数 H として求める。そして、演算回路24は、主成分方向を表す直線 $Q_{g'} \times G + Q_{b'} \times B = Q_{c'}$ を求め、 GB 空間上での点 $(L_g(I', J'), L_b(I', J'))$ と、直線 $Q_{g'} \times G + Q_{b'} \times B = Q_{c'}$ との距離 u を用いて表される未知数としての GB バネ力 $H \times u$ を得る。さらに、演算回路24は、 GB バネ力 $H \times u$ の G 信号成分を式(25)の左辺の加算対象に加えるとともに、 GB バネ力 $H \times u$ の B 信号成分を式(27)の左辺に加算対象として加える。そして、ステップS179からS180に進む。

【0601】

ステップS180において、演算回路24は、 GR および GB 空間における色相関の条件が付加された緑色の光量のバネ関係式、 GR 空間における色相関の条件が付加された赤色の光量のバネ関係式、 GB 空間における色相関の条件が付加された青色の光量のバネ関係式を、例えば、一次方程式として解くことにより、

注目位置 (I', J') における真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ をそれぞれ求め、ステップ S 7181 に進む。

【0602】

ステップ S 181 において、演算回路 24 は、すべての位置 (I', J') を注目位置としたか、即ち、1 枚目の撮像画像の画素の中心位置のすべてを注目位置 (I', J') として、真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ を求めたか否かを判定する。

【0603】

ステップ S 181 で、すべての位置 (I', J') をまだ注目位置として求めていると判定された場合、ステップ S 171 に戻り、ステップ S 171 乃至 S 181 の処理が繰り返される。即ち、演算回路 24 は、まだ注目していない位置 (I', J') を次の注目位置 (I', J') として、注目位置 (I', J') における真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、および真の青色の光量 $L_b(I', J')$ をそれぞれ求める。

【0604】

一方、ステップ S 181 で、すべての位置 (I', J') を注目位置としたと判定された場合、ステップ S 182 に進み、演算回路 24 は、ステップ S 180 で求めた真の緑色の光量 $L_g(I', J')$ 、真の赤色の光量 $L_r(I', J')$ 、真の青色の光量 $L_b(I', J')$ から、画像 (信号) を推定し、D/A コンバータ 9 またはコーデック 12 に結果画像として供給し、処理を戻る。例えば、「 i 番目、 j 番目の画素」においては、演算回路 24 は、緑色の値 (G 信号) としてステップ S 180 で求めた真の緑色の光量 $L_g(i-0.5, j-0.5)$ と、赤色の値 (R 信号) としてステップ S 180 で求めた真の赤色の光量 $L_r(i-0.5, j-0.5)$ と、青色の値 (B 信号) としてステップ S 180 で求めた真の青色の光量 $L_b(i-0.5, j-0.5)$ とから、「 i 番目、 j 番目の画素」の画像信号を推定する。そして、演算回路 24 は、その推定を位置 (I', J') を中心位置とする画素すべてに行うことにより、結果画像を推定する。

【0605】

以上のように、第7実施の形態では、色相関の条件をさらに付加することにより、ノイズ等による誤差を軽減した、より正確な解、即ち、より本来の光に忠実で鮮明な画像を求めることができる。

【0606】

なお、第7実施の形態における上述の例では、作成される平面Q1乃至Q4の傾きを、基準座標系上のある位置(x, y)を中心とする9の領域(3×3画素幅の領域)内の位置で観測される画素値を用いて求めることとしたが、例えば、16の領域(4×4画素幅の領域)など、その他の領域の位置で観測される画素値により求めるようにしてもよい。

【0607】

さて、本発明の特徴を明確にするために、再度、本発明と、従来技術の違いを説明する。

【0608】

図40は、本発明の方法と従来の方法の処理の流れを示している。

【0609】

図40に示したように、従来から、「図中の(ア)：単板センサから出力された画像(例えば、ベイヤー配列の画像：1画素につきR信号、G信号、またはB信号のいずれか1つしかない画像)から、通常のカラ画像(1画素につきR信号、G信号、およびB信号の3つのデータが揃った画像)への変換方法」は、いくつも存在している。事実、製品として販売されている単板センサを用いたデジタルスチルカメラには、この変換方法がインプリメントされているものがある。この変換方法は、デモザイキングと呼ばれる処理である。

【0610】

そして、従来から、「図中の(イ)：複数枚の暗い(あるいはSN比の悪い)カラ画像(1画素につきR信号、G信号、およびB信号の3つのデータが揃った画像)から、鮮明な(あるいはSN比の良い)カラ画像(1画素につきR信号、G信号、およびB信号の3つのデータが揃った画像)を作成する方法」も、

知られていた。具体的には、従来の技術のところで述べた特許文献 2 や特許文献 3 などの方法である。

【0 6 1 1】

従って、これら 2 つの方法を組み合わせることで、「複数枚の暗い（あるいは S N 比の悪い）単板センサから出力された画像（例えば、ペイヤー配列の画像：1 画素につき R 信号、G 信号、または B 信号のいずれか 1 つしかない画像）から、鮮明な（あるいは S N 比の良い）カラー画像（1 画素につき R 信号、G 信号、および B 信号の 3 つのデータが揃った画像）を作成する」ことが出来る。

【0 6 1 2】

つまり、複数枚（ m 枚）の暗い（あるいは S N 比の悪い）単板センサから出力された画像（例えば、ペイヤー配列の画像：1 画素につき R 信号、G 信号、または B 信号のいずれか 1 つしかない画像）2 0 1 - m のそれぞれに対して、図中の（ア）で示されるようにデモザイキング処理 2 0 2 - m を行い、暗い（あるいは S N 比の悪い）カラー画像（1 画素につき R 信号、G 信号、および B 信号の 3 つのデータが揃った画像）2 0 3 - m を一度作成する。そして、それらカラー画像 2 0 3 - m に対して、図中の（イ）で示した特許文献 2 や特許文献 3 の方法を使って、鮮明な（あるいは S N 比の良い）カラー画像（1 画素につき R 信号、G 信号、および B 信号の 3 つのデータが揃った画像）2 0 4 を作成すればよい。ここで、 m は、所定の枚数を表す整数とする。

【0 6 1 3】

さて、デモザイキングの処理では、当然、補間処理あるいはそれに類似の処理が行われるので、画像の鮮明さは薄れる。そして、特許文献 2 や特許文献 3 などにおける処理でも、デジタルサンプリングされたデータの位置合わせを行うため、補間処理が行われるので、ここでも画像の鮮明さは薄れる。このように、図中の（ア）および（イ）において、補間処理が合計で 2 回行われるので、画像の鮮明さはかなり薄れる。ちなみに、補間処理は、周囲のデータから特定の地点でのデータを復元する際に用いられる処理であり、補間すればするほど画像の鮮明さがなくなるのは明白である。

【0 6 1 4】

一方、本発明においては、「複数枚の暗い（あるいはS/N比の悪い）単板センサから出力された画像（例えば、ベイヤー配列の画像：1画素につきR信号、G信号、またはB信号のいずれか1つしかない画像）から、直接、鮮明な（あるいはS/N比の良い）カラー画像（1画素につきR信号、G信号、およびB信号の3つのデータが揃った画像）を作成する」ので、補間処理あるいはそれに類似する処理が1箇所しか存在しない。従って、従来の方よりも鮮明な画像を復元することができる。このように、本発明と従来技術の違い、および、本発明の利点は、明白である。

【0615】

また、従来の方では、各画像に対してデモザイキング処理を行うので、例えば、8枚の画像がある場合、8回のデモザイキング処理（図中の（ア））を行わなくてはならない。つまり、計算量が膨大になってしまう欠点もあった。

【0616】

本発明と従来の方との差異を別の見方により説明する。

【0617】

従来の方のところで述べた特許文献2などに示される方法では、手ぶれの分だけ位置をずらして重ねると良いという事が述べられている。これは、手ぶれの分だけ位置をずらした画像を補間により作成することを意味している。N枚の画像を重ね合わせるということは、出力画像のすべての画素は、N個分のデータが重ね合わせられるということになる。従って、重ね合わせた後に、すべての画素に対して、一定の値（つまり、N、あるいは、「（適正露出における露出時間）÷（実際の撮影における露出時間）÷N」）で割ることになる。また、ある決まった一定量の画素のずれを起こして、複数枚撮影して、それら画像の位置合わせを行いながら、合成していくことで高精彩な画像を得るという方法も従来からあったが、その場合でも、ずれ量が決まっているので、出力画像の各画素において、常にあらかじめ決められた値で割っていく（正規化していく）ことを行っていた。

【0618】

それに対して、本発明の第1実施の形態や第2実施の形態では、出力画像の各

位置 (x, y) における条件の数、すなわち真の値の推定に用いることができる観測値(観測画素)の数は、場合によって変わる。ある人がある場面を撮影したときにおいて、ある位置 (x, y) については、その近傍に沢山の入力画素 $G o b s(k, i g, j g)$ がある可能性がある。その場合、その位置 (x, y) が関与する式(20)は、多くなる。また、その近傍に少しの入力画素 $G o b s(k, i g, j g)$ しかなければ、その位置 (x, y) が関与する式(20)は、少なくなる。このように、出力画像の各位置 (x, y) が関与する条件式の数は一変で、実際に撮影したときの状態(手ぶれによるずれ量)に依存する。このため、各画素位置の真の値の推定では、撮像状態(画像間の動き)に応じて、考慮すべき候補となる観測点およびその数等が適応的に変化し得る。この場合、例えば、観測点の数を固定しておき候補観測点からその数の観測点を選択するという構成、観測点の数と選択される観測点の双方を変動させる構成、或いは、観測点の位置、数や分布等についての所定の条件に応じて両者を使い分ける構成等が可能である。

【0619】

また、本発明の第3乃至第7実施の形態では、手ぶれの分だけ位置をずらす、ベイヤ配列のため、すべての出力位置に、なにかしらのデータが必ず加算されるわけではない。k枚目の画像について、図21に示した 2×2 画素の中に、位置補正したデータがなければ、その出力画素には、k枚目の画像のどのデータも加味されない。逆に、図21に示した 2×2 画素の中に、位置補正したデータが2つあれば、その出力画素には、2つのデータが(重みをつけて)加算される。より具体的に述べると、ある画素は、最終的に、重みの合計が10であれば、10で割って、出力画素となる。また、別の画素は、最終的に、重みの合計が3.5であれば、3.5で割って、出力画素となる。つまり、本発明では、式(25)、式(26)、式(27)などに示す式において、 Σ で加算される総数が、実際に撮影したときの状態(手ぶれによるずれ量)に依存する。このため、各画素位置の真の値の推定では、撮像状態(画像間の動き)に応じて、考慮すべき候補となる観測点およびその数等が適応的に変化し得る。

【0620】

このように、本発明においては、「単板センサ（ペイヤー配列のセンサ）から出力された複数の画像から、鮮明な画像を復元する場合には、条件式の数が可変、あるいは、重みが可変としなくてはならない場合がある」ことを考慮しながら、適切な復元方法を提供した点が、従来では出来なかったことである。

【 0 6 2 1 】

上述した一連の処理は、ハードウェアにより実行させることもできるし、ソフトウェアにより実行させることもできる。この場合、例えば、デジタルカメラ 1 は、図 4 1 に示されるようなコンピュータにプログラムを実行させることにより実現することができる。

【 0 6 2 2 】

図 4 1 において、CPU (Central Processing Unit) 3 0 1 は、ROM (Read Only Memory) 3 0 2 に記憶されているプログラム、または記憶部 3 0 8 から RAM (Random Access Memory) 3 0 3 にロードされたプログラムに従って各種の処理を実行する。RAM 3 0 3 にはまた、CPU 3 0 1 が各種の処理を実行する上において必要なデータなども適宜記憶される。CPU 3 0 1 は、信号処理回路 7 の動き検出回路 2 3 および演算回路 2 4 等が行う処理を実行する。

【 0 6 2 3 】

CPU 3 0 1、ROM 3 0 2、および RAM 3 0 3 は、バス 3 0 4 を介して相互に接続されている。このバス 3 0 4 にはまた、入出力インタフェース 3 0 5 も接続されている。

【 0 6 2 4 】

入出力インタフェース 3 0 5 には、キーボード、マウスなどよりなる入力部 3 0 6、CRT (Cathode Ray Tube)、LCD (Liquid Crystal display) などよりなるディスプレイ、並びにスピーカなどよりなる出力部 3 0 7、ハードディスクなどより構成される記憶部 3 0 8、モデム、ターミナルアダプタなどより構成される通信部 3 0 9 が接続されている。通信部 3 0 9 は、インターネットなどのネットワークを介しての通信処理を行う。撮像部 3 1 1 は、図 1 で示される撮像素子 4 などをも有し、被写体を撮像し、その撮像した被写体の画像データを入出力インタフェース 3 0 5 を介して CPU 3 0 1 等に供給する。

【0625】

入出力インタフェース305にはまた、必要に応じてドライブ310が接続され、磁気ディスク321、光ディスク322、光磁気ディスク323、或いは半導体メモリ324などが適宜装着され、それらから読み出されたコンピュータプログラムが、必要に応じて記憶部308にインストールされる。

【0626】

なお、本明細書において、記録媒体に記録されるプログラムを記述するステップは、記載された順序に沿って時系列的に行われる処理はもちろん、必ずしも時系列的に処理されなくとも、並列的あるいは個別に実行される処理をも含むものである。

【0627】

上述した例では、デジタルカメラ1の撮像素子4を、単板センサで構成し、撮像素子4が出力する1画素につき1個の色信号から、1画素につき3個の色信号を有する画像を推定するようにしたが、撮像素子4は、単板センサでなくてもよい。即ち、撮像素子4としては、1画素につき所定の n 個の色信号を出力するものを採用し、画像推定処理では、1画素につき n 個の色信号から、1画素につき $(n+1)$ 個以上の色信号を有する画像を推定するようにすることができる。

【0628】

また、上述した例では、1枚目の撮像画像を基準画像、2乃至 N 枚目の撮像画像それぞれをターゲット画像とし、ターゲット画像の基準画像に対する位置関係を検出したが、1枚目の撮像画像以外の、2乃至 N 枚目の撮像画像のいずれかを基準画像として、ターゲット画像の基準画像に対する位置関係を検出するようにすることも可能である。

【0629】

本発明は、上述したように、デジタルスチルカメラに採用できる他、デジタルビデオカメラ等にも採用することができる。

【0630】**【発明の効果】**

以上のごとく本発明によれば、より鮮明な画像を得ることができる。

【図面の簡単な説明】**【図 1】**

本発明を適用したデジタルカメラ 1 の一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

【図 2】

図 1 のデジタルカメラ 1 の撮像処理について説明するフローチャートである。

【図 3】

図 1 の撮像素子 4 の画素の配列を示す図である。

【図 4】

図 1 の信号処理回路 7 の詳細な構成例を示すブロック図である。

【図 5】

1 枚目画像と 2 枚目画像との座標の関係について示す図である。

【図 6】

画像推定処理の第 1 実施の形態について説明するフローチャートである。

【図 7】

画像推定処理の第 1 実施の形態について説明するフローチャートである。

【図 8】

第 2 実施の形態における色相関の条件を説明する図である。

【図 9】

第 2 実施の形態における色相関の条件を説明する図である。

【図 1 0】

画像推定処理の第 2 実施の形態について説明するフローチャートである。

【図 1 1】

画像推定処理の第 2 実施の形態について説明するフローチャートである。

【図 1 2】

画像推定処理の第 2 実施の形態について説明するフローチャートである。

【図 1 3】

フレームメモリ 2 2 - 1 に記憶される 1 枚目画像を示す図である。

【図 1 4】

フレームメモリ 22-2 に記憶される 2 枚目画像を示す図である。

【図 15】

フレームメモリ 22-3 に記憶される 3 枚目画像を示す図である。

【図 16】

撮像素子 4 の画素を示す図である。

【図 17】

図 1 の撮像素子 4 の画素の配列を示す図である。

【図 18】

バネモデルについて説明する図である。

【図 19】

バネモデルについて説明する図である。

【図 20】

バネモデルについて説明する図である。

【図 21】

バネモデルについて説明する図である。

【図 22】

バネモデルについて説明する図である。

【図 23】

バネモデルについて説明する図である。

【図 24】

画像推定処理の第 3 実施の形態について説明するフローチャートである。

【図 25】

画像推定処理の第 4 実施の形態について説明するフローチャートである。

【図 26】

画像推定処理の第 5 実施の形態について説明するフローチャートである。

【図 27】

撮像素子 4 の各画素が緑色の成分（G 信号）を受光している状態を示す図である。

【図 28】

縦方向のエッジを説明する図である。

【図 2 9】

横方向のエッジを説明する図である。

【図 3 0】

左上から右下方向のエッジを説明する図である。

【図 3 1】

右上から左下方向のエッジを説明する図である。

【図 3 2】

縦方向のエッジが検出された場合の作成される平面 Q 1 を説明する図である。

【図 3 3】

横方向のエッジが検出された場合の作成される平面 Q 2 を説明する図である。

【図 3 4】

左上から右下方向のエッジが検出された場合の作成される平面 Q 3 を説明する図である。

【図 3 5】

右上から左下方向のエッジが検出された場合の作成される平面 Q 4 を説明する図である。

【図 3 6】

画像推定処理の第 6 実施の形態について説明するフローチャートである。

【図 3 7】

第 7 実施の形態における色相関の条件を説明する図である。

【図 3 8】

第 7 実施の形態における色相関の条件を説明する図である。

【図 3 9】

画像推定処理の第 7 実施の形態について説明するフローチャートである。

【図 4 0】

本発明と従来の方法の違いを説明する図である。

【図 4 1】

本発明を適用したコンピュータの一実施の形態の構成例を示すブロック図であ

る。

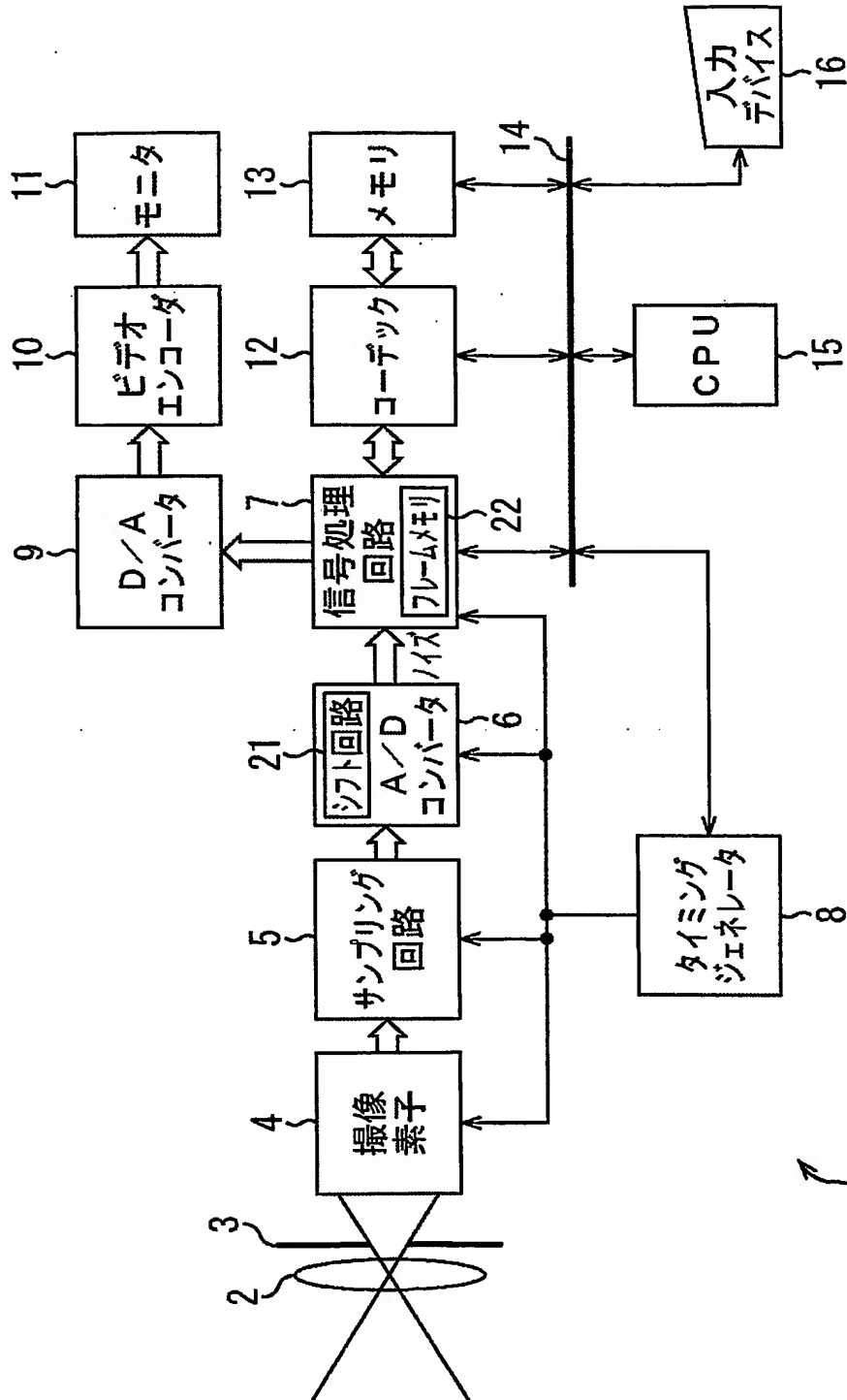
【符号の説明】

1 デジタルカメラ, 2 レンズ, 3 絞り, 4 撮像素子, 5 相
関2重サンプリング回路, 6 A/Dコンバータ, 7 信号処理回路, 8
タイミングジェネレータ, 9 D/Aコンバータ, 10 ビデオエンコーダ,
11 モニタ, 12 コーデック, 13 メモリ, 14 バス, 15
CPU, 16 入力デバイス, 21 シフト回路, 22-1乃至N フレ
ームメモリ, 23-1乃至(N-1) 動き検出回路, 24 演算回路,
25 コントローラ

【書類名】 図面

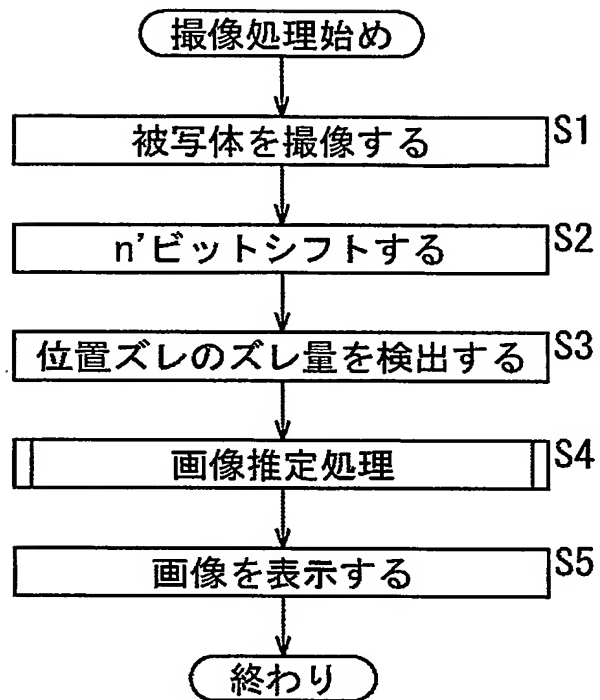
【図1】

図1



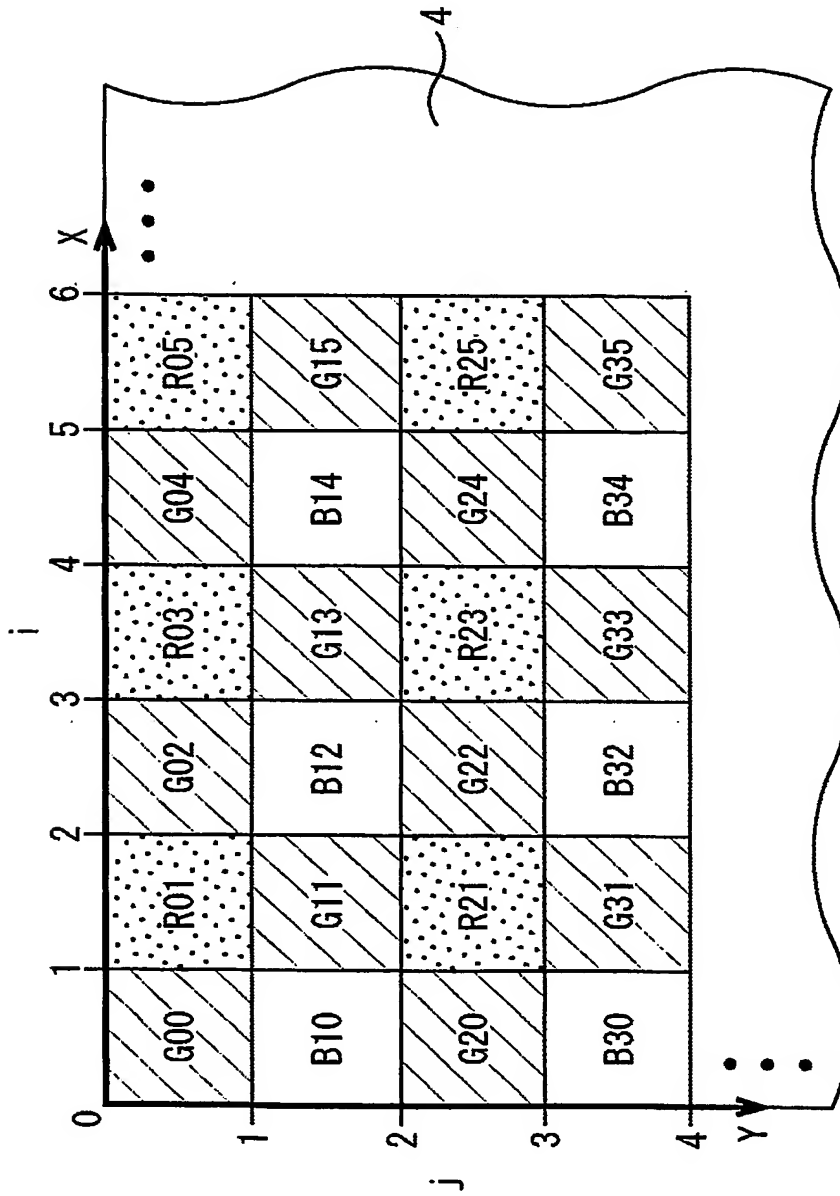
【図2】

図2



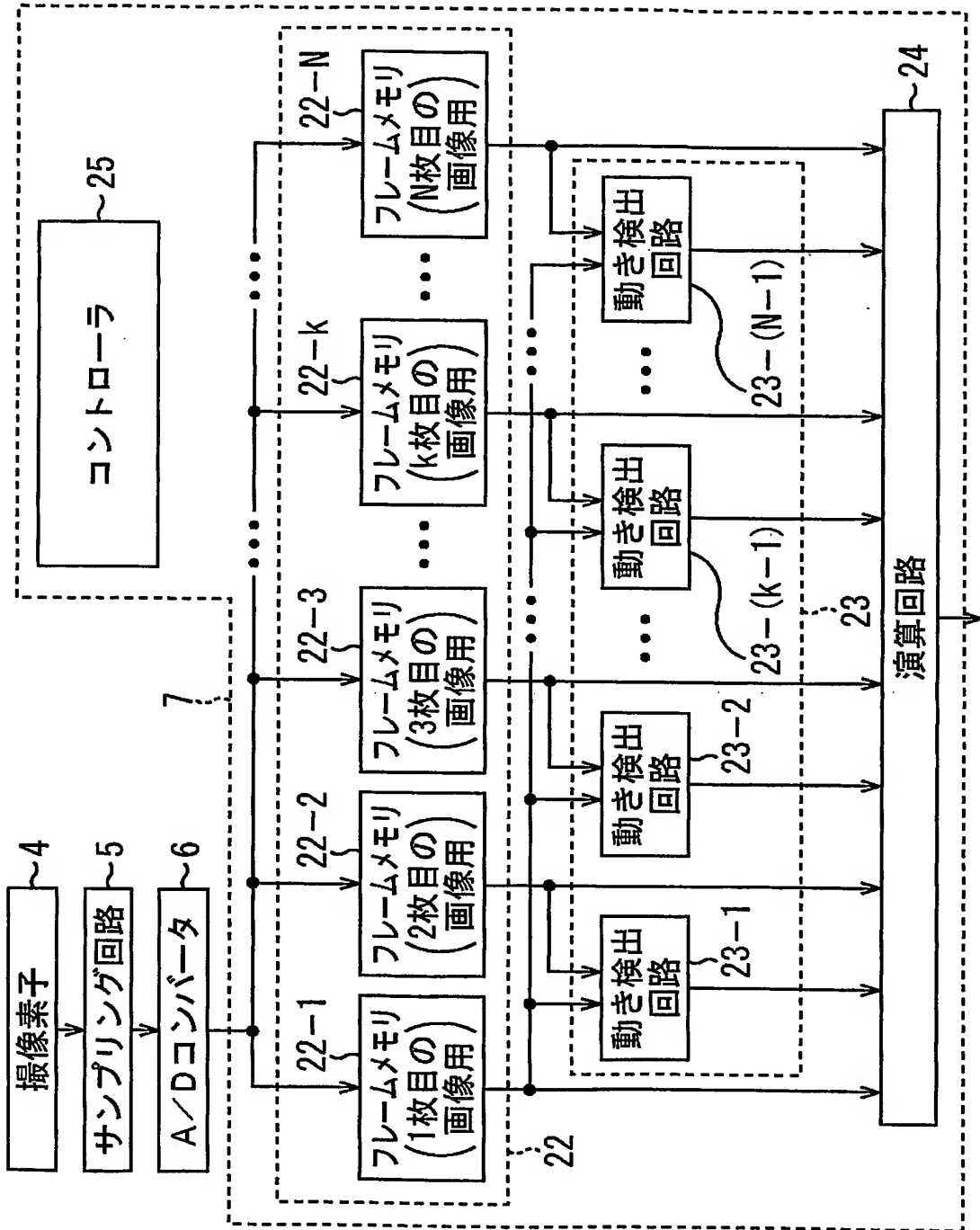
【図3】

図3



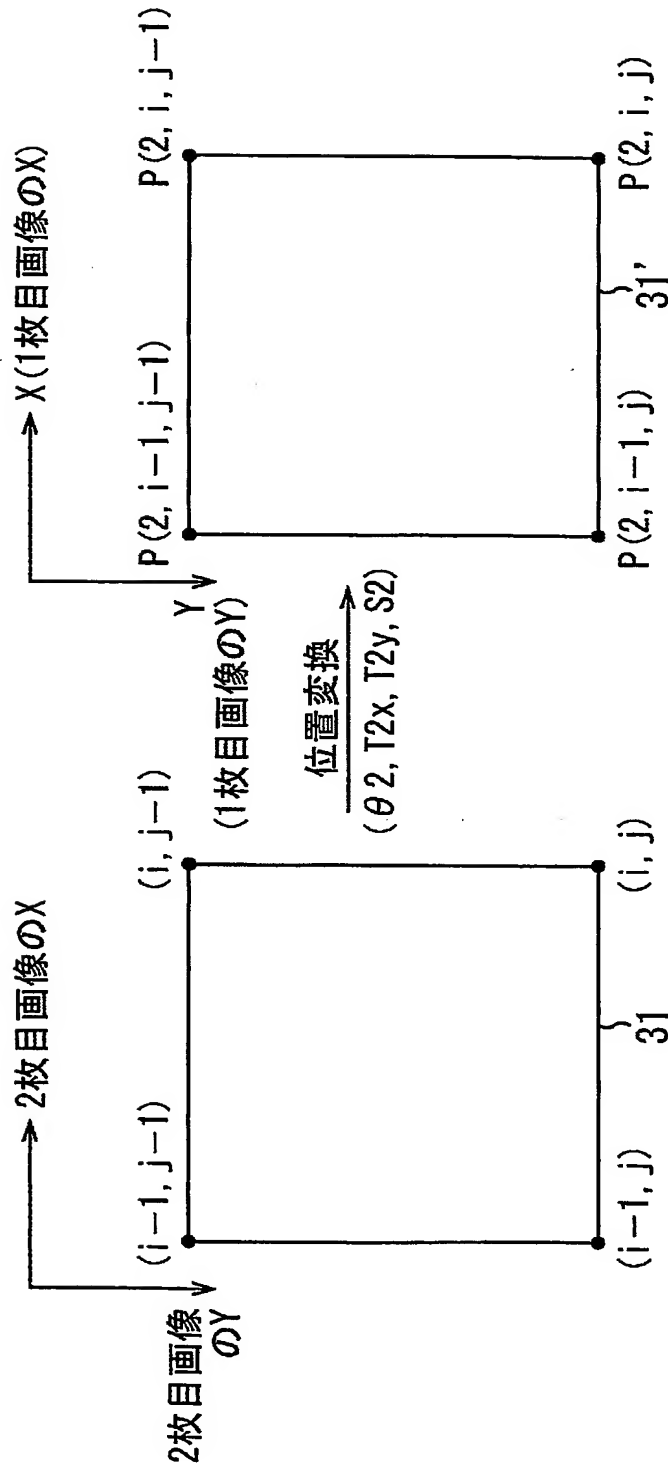
【図 4】

図4



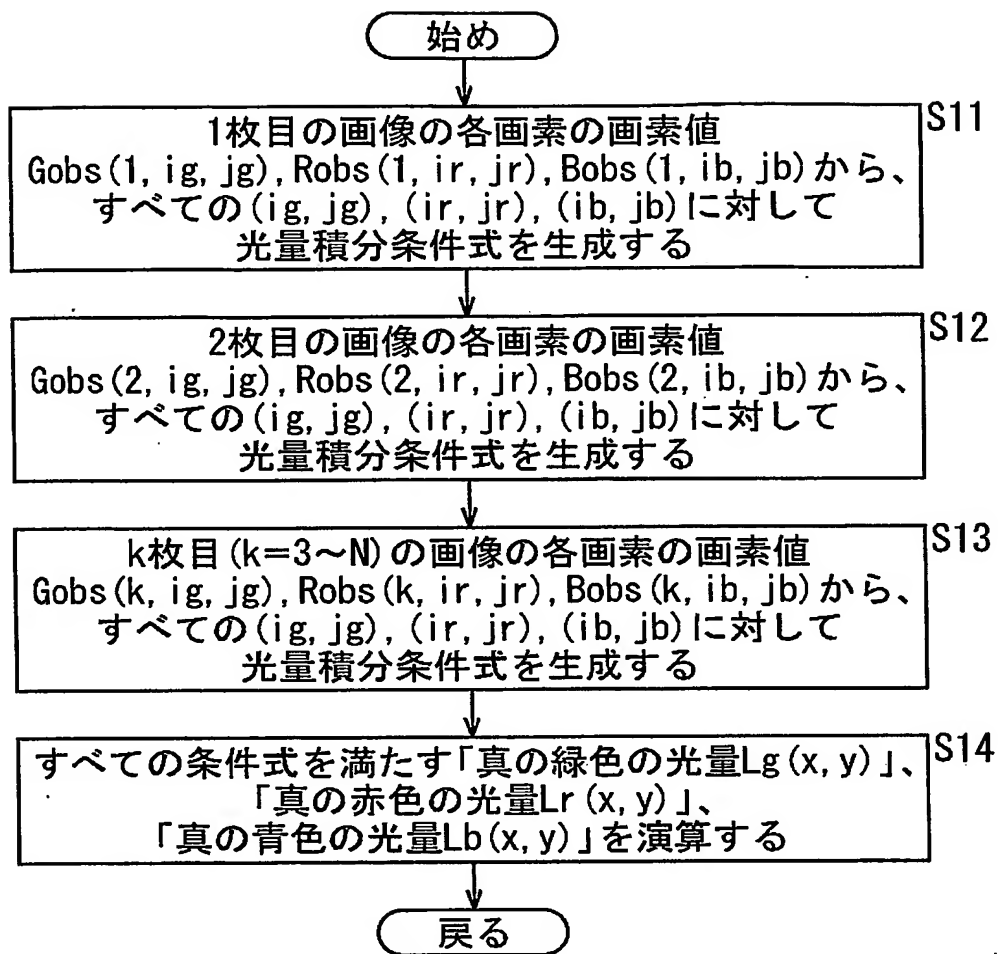
【図 5】

図5



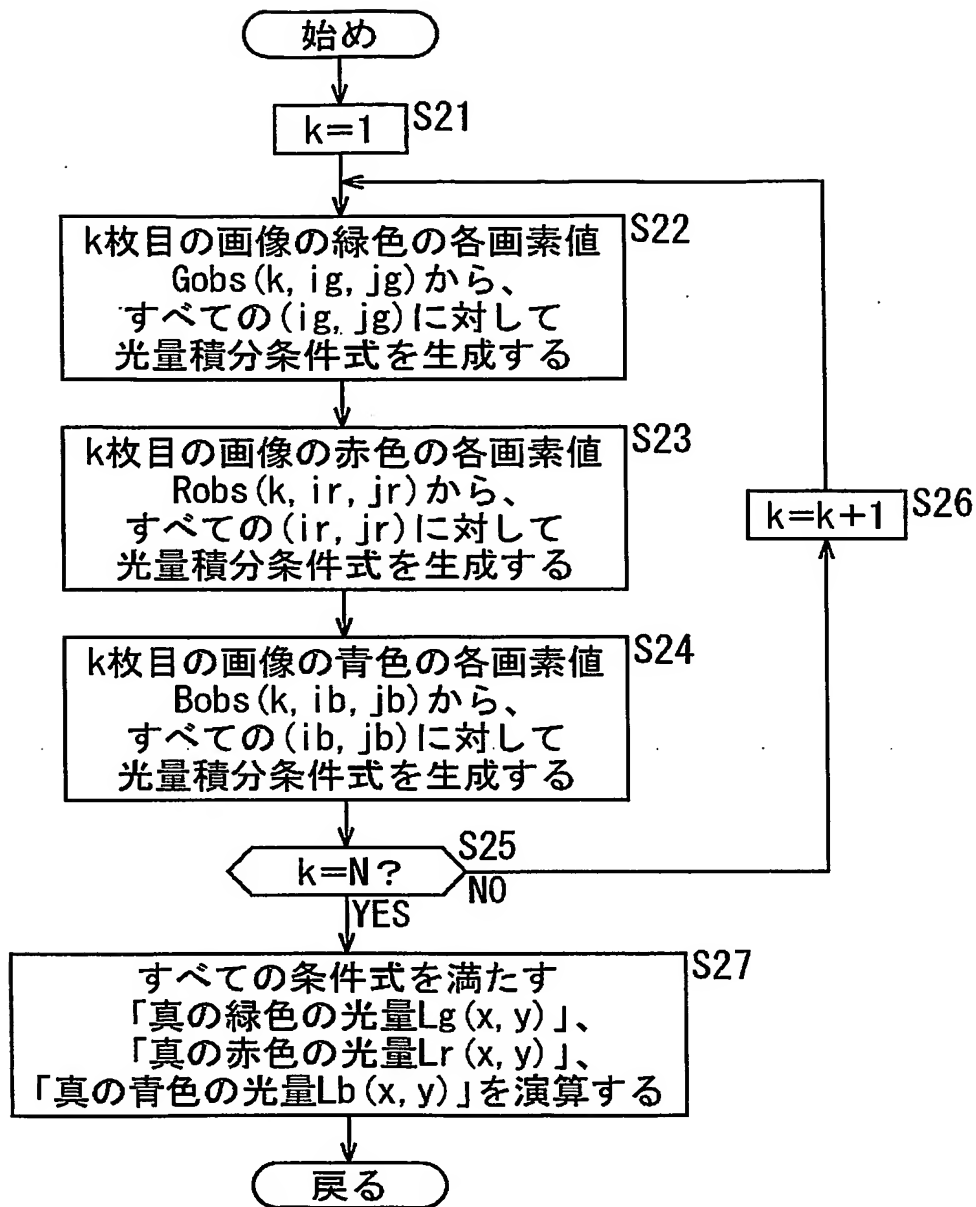
【図6】

図6



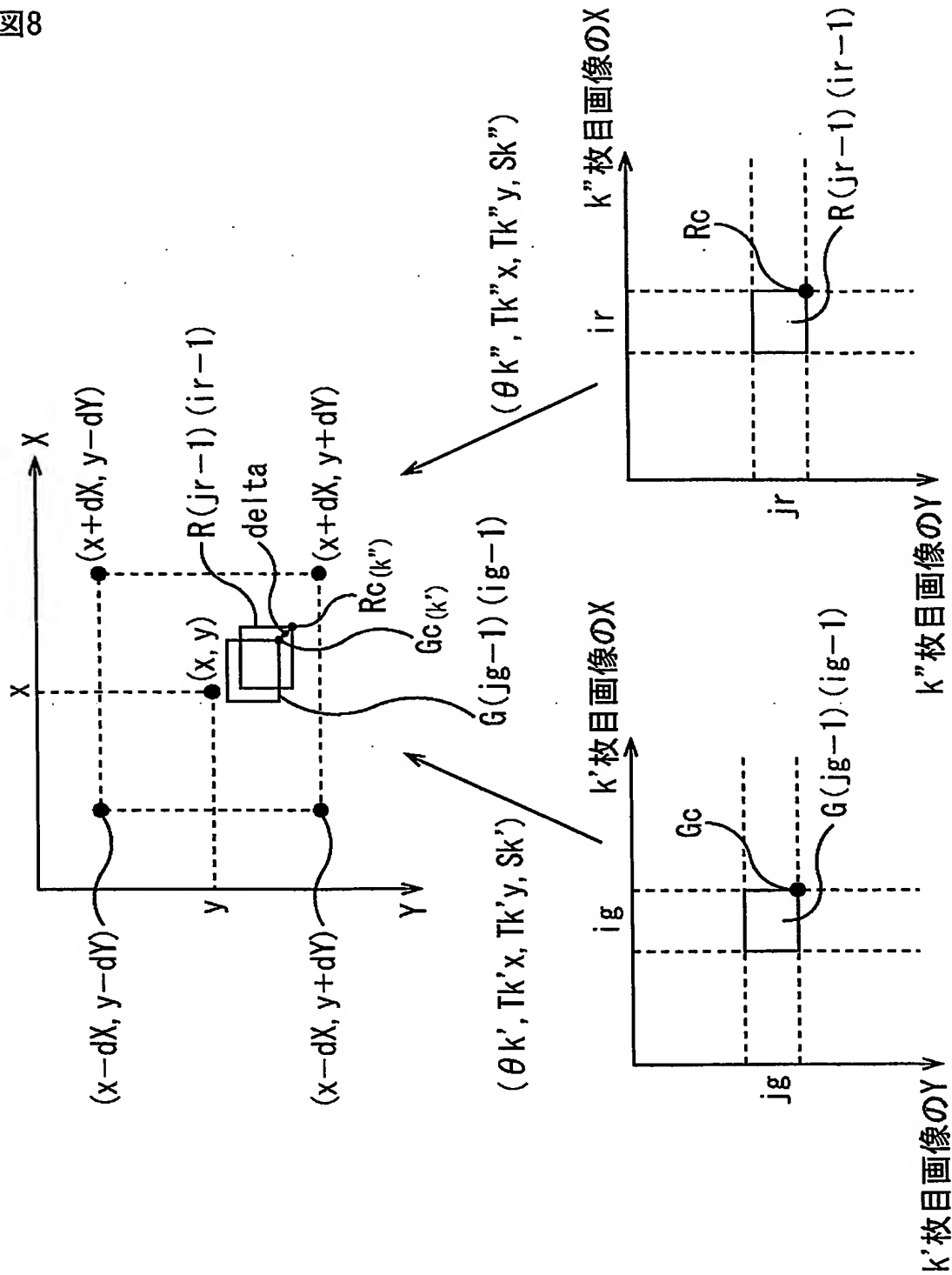
【図7】

図7



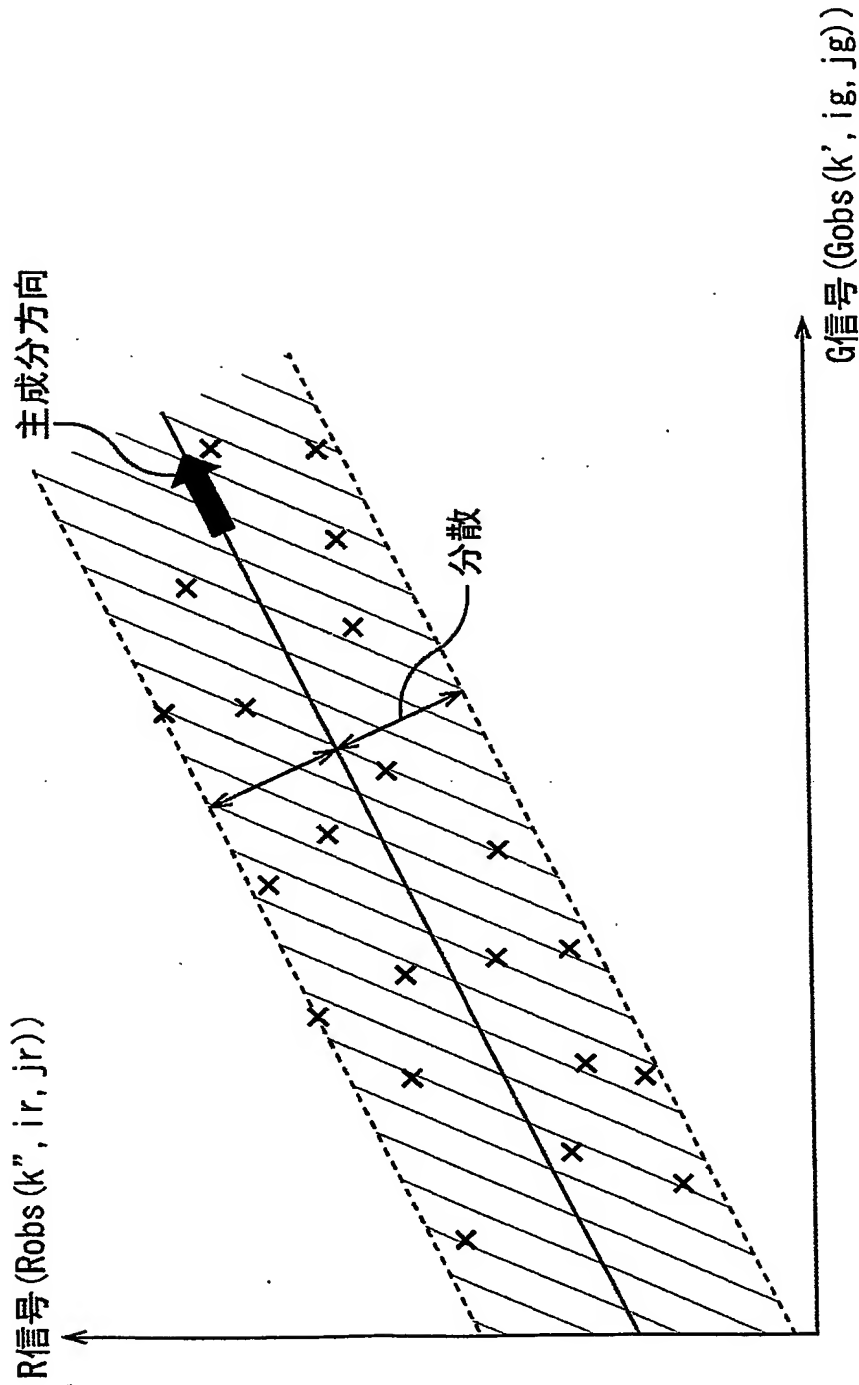
【図 8】

図8



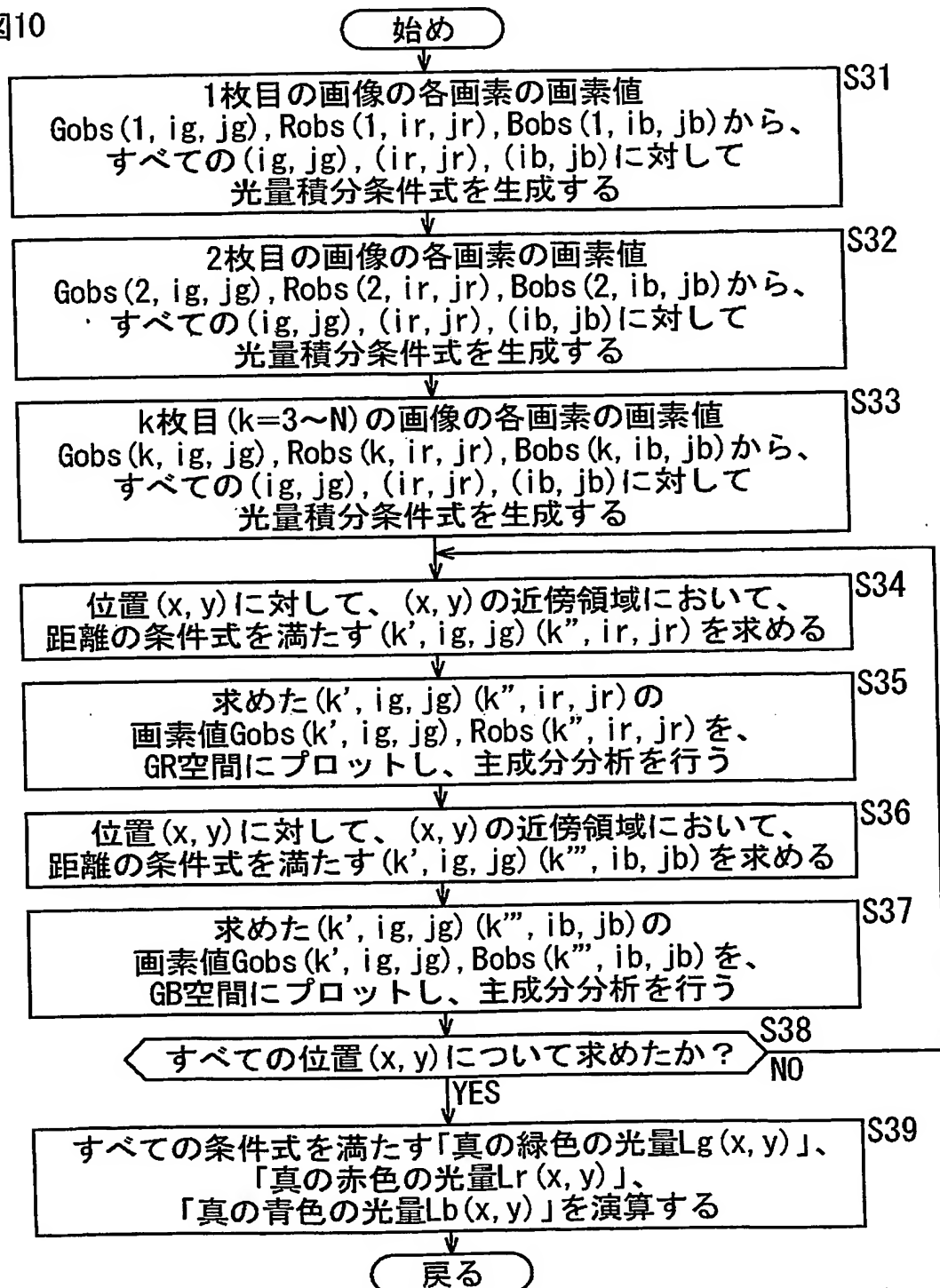
【図9】

図9



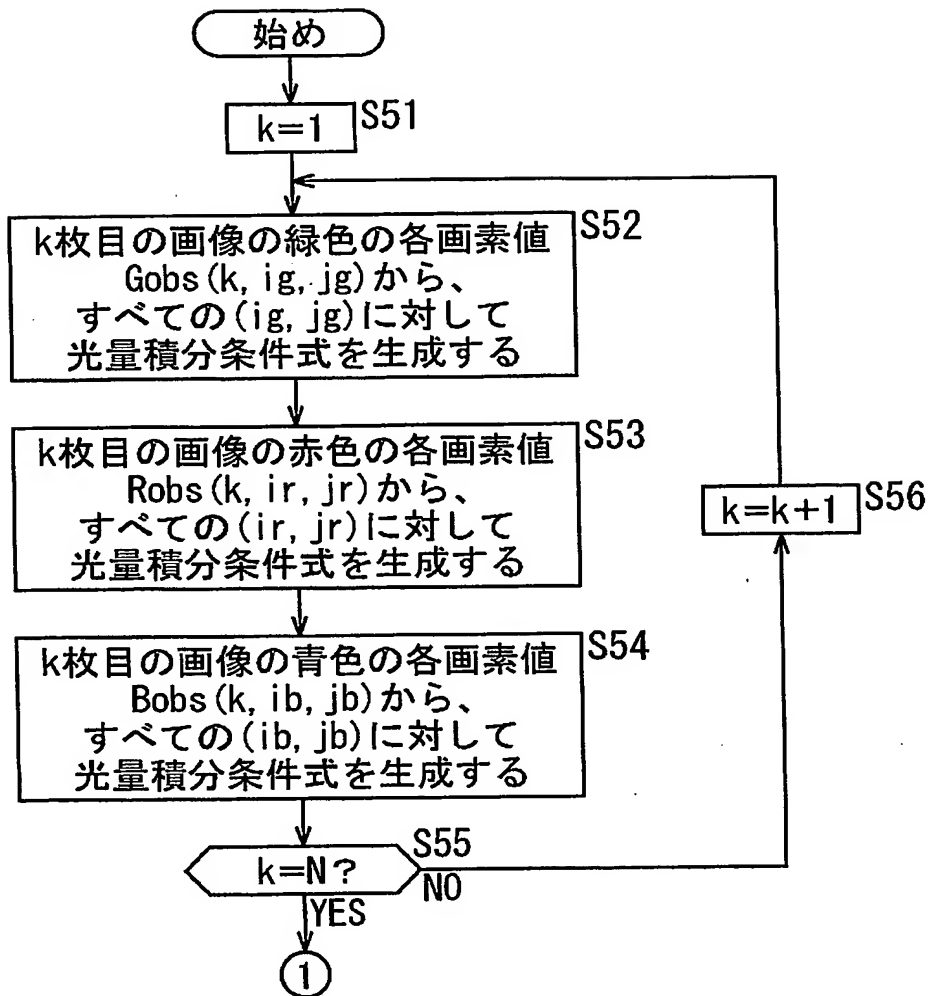
【図10】

図10



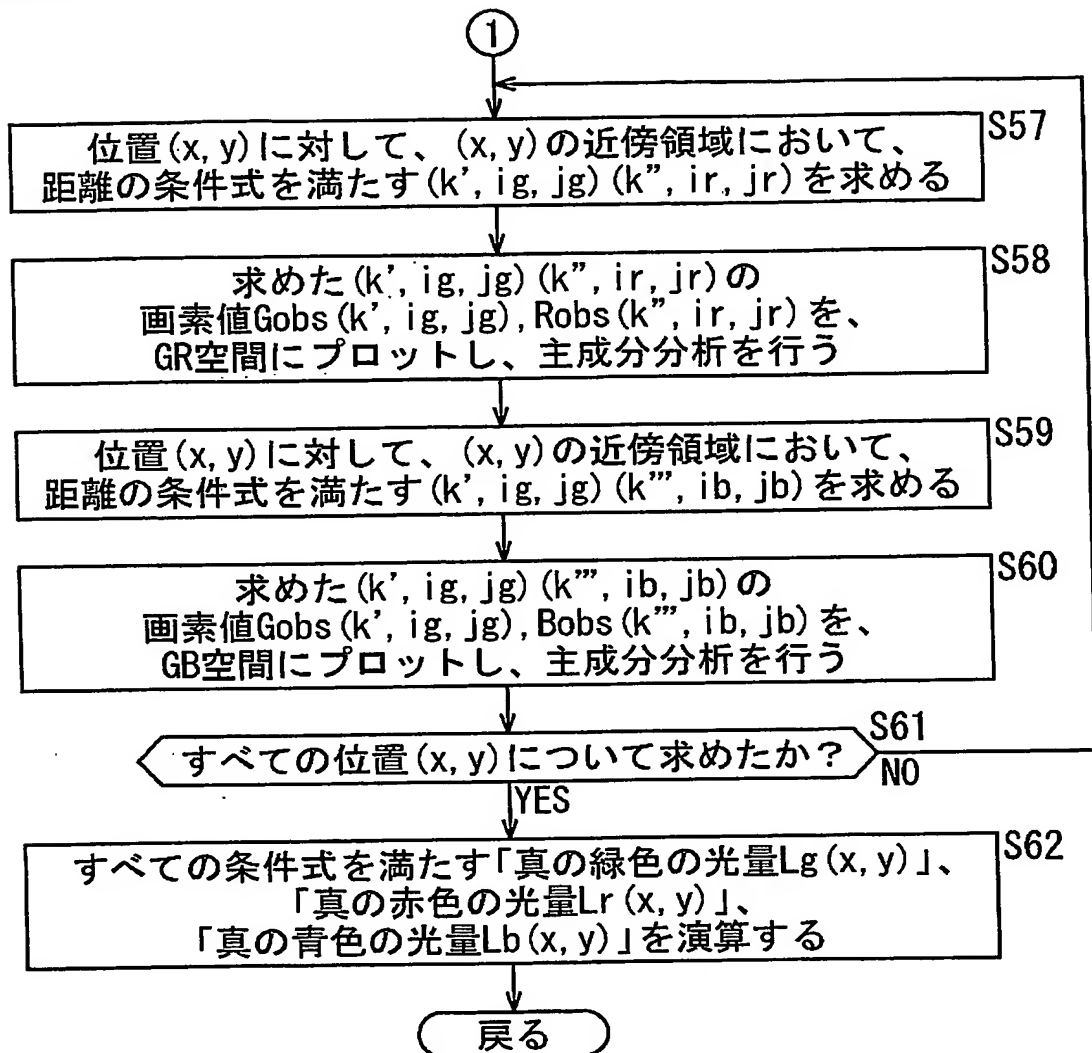
【図 11】

図11



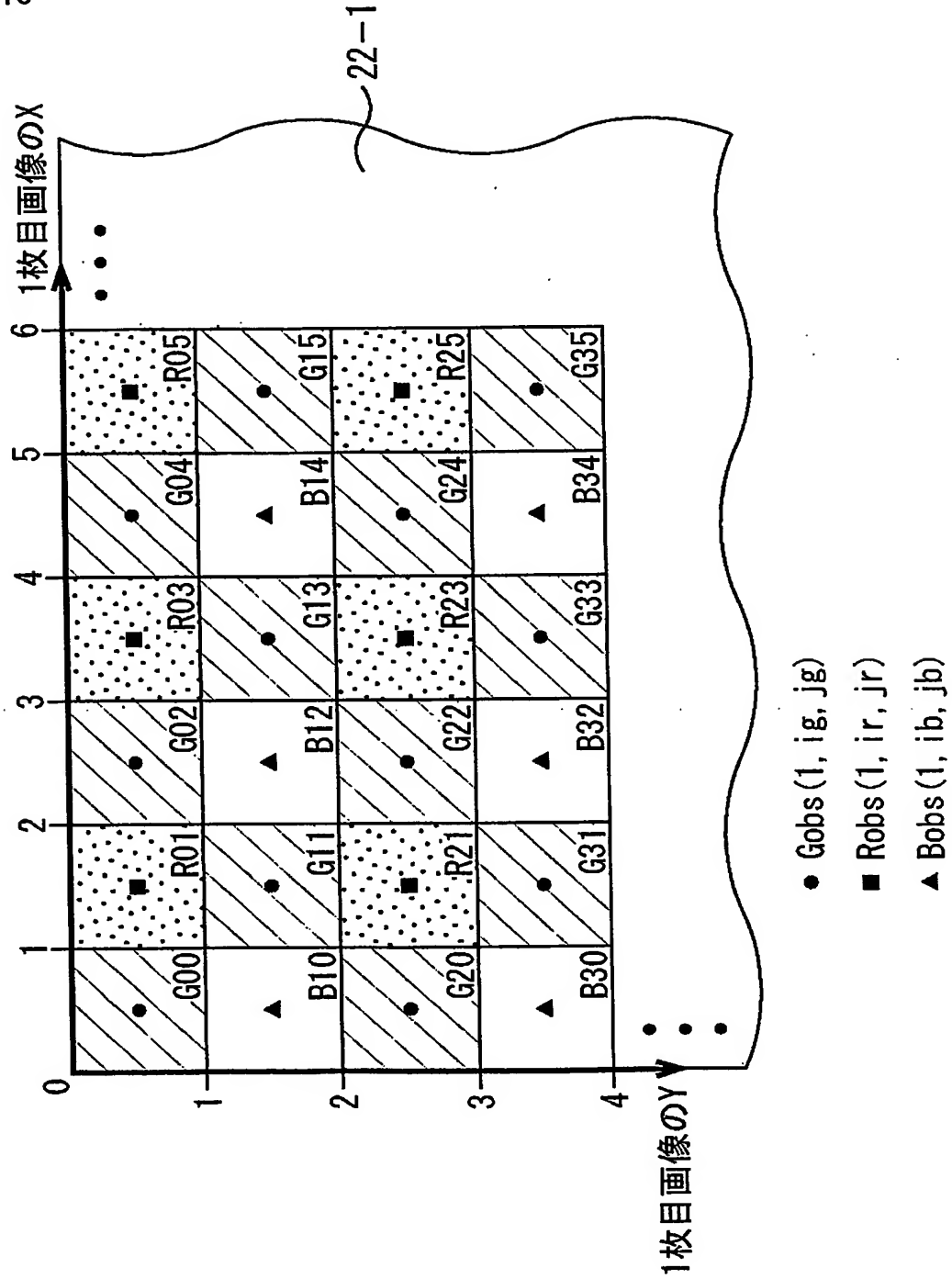
【図12】

図12



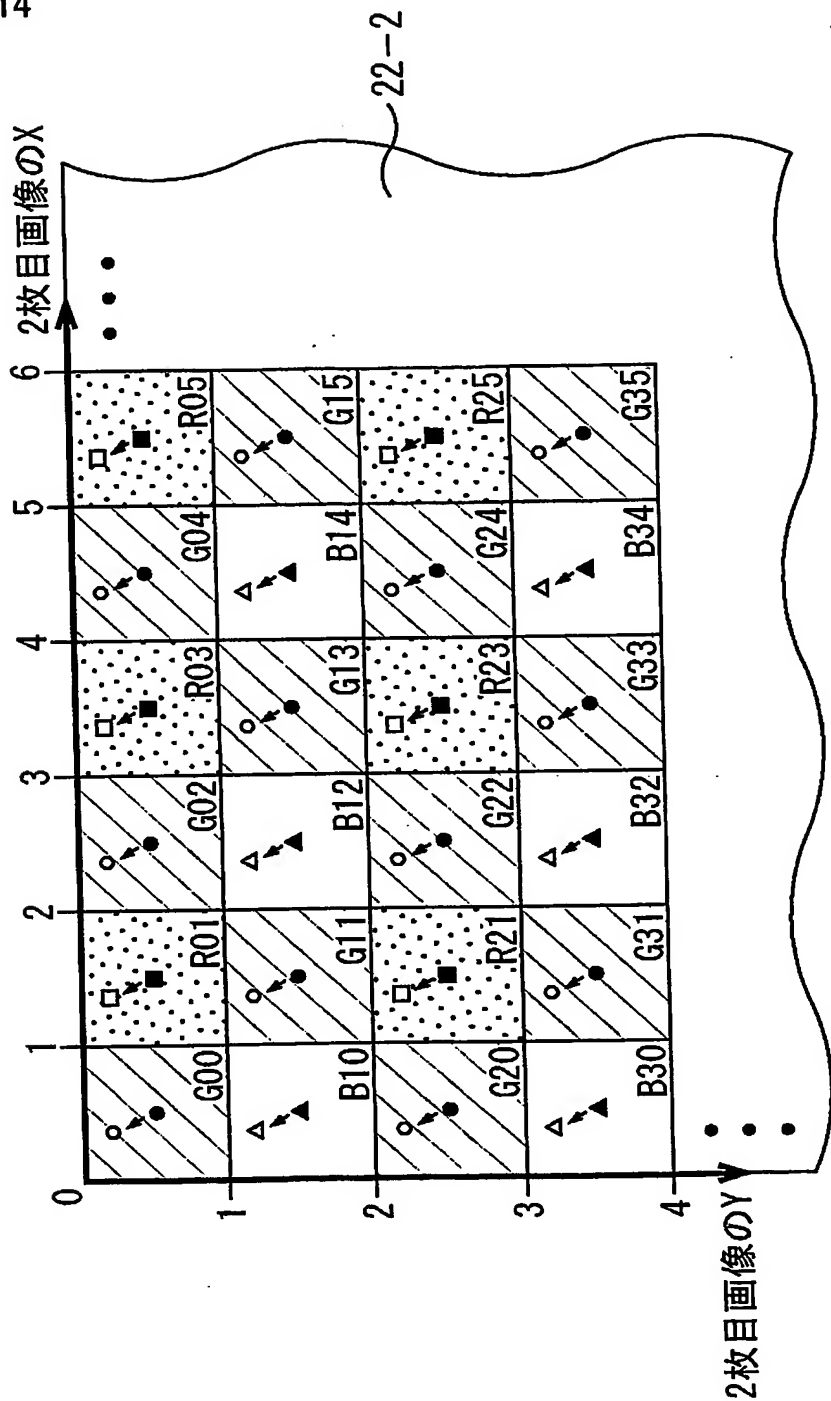
【図13】

図13



【図14】

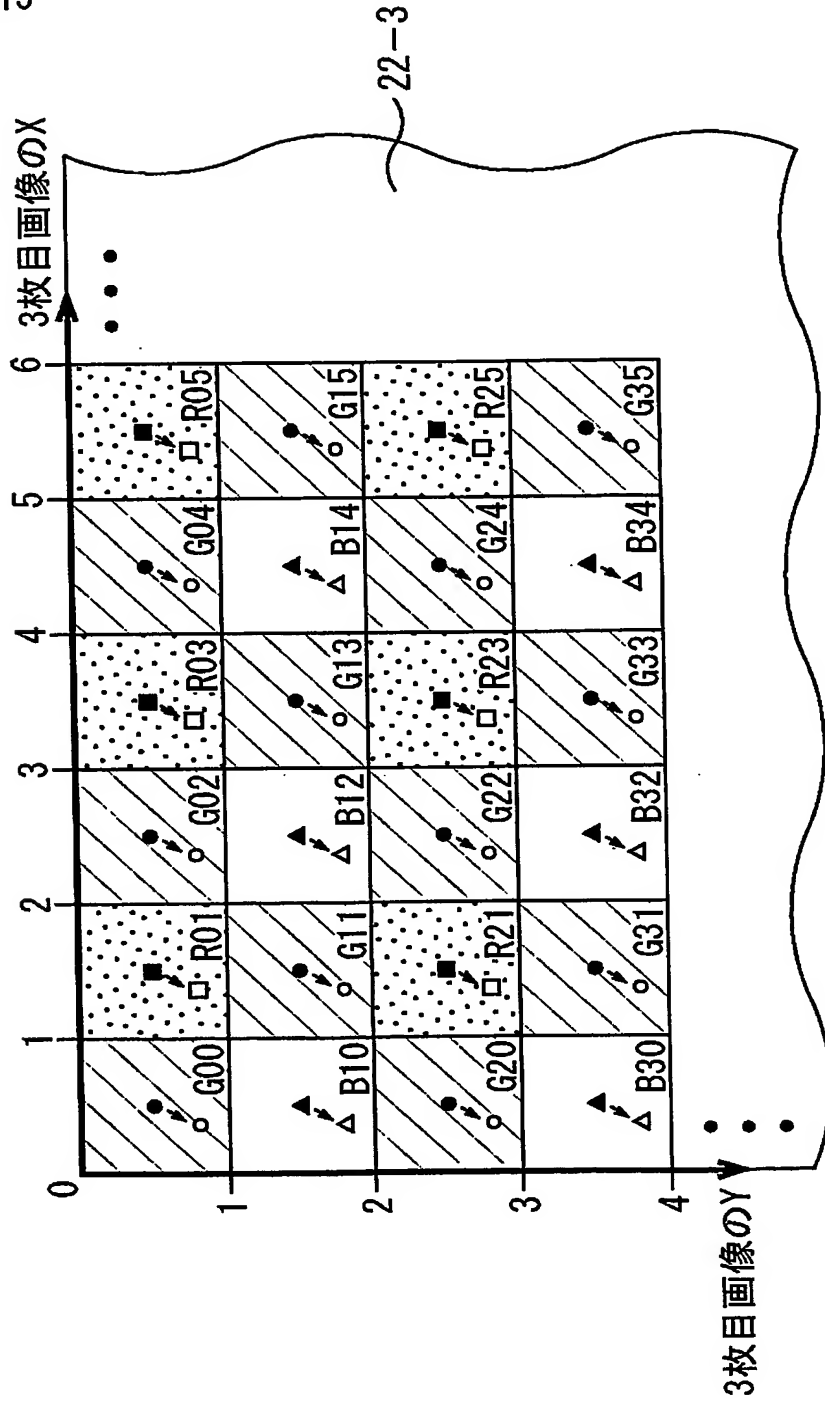
図14



- 2枚目画像の座標系上のGobs(2, ig, jg) ○ 1枚目画像の座標系上のGobs(2, ig, jg)
- 2枚目画像の座標系上のRobs(2, ir, jr) □ 1枚目画像の座標系上のRobs(2, ir, jr)
- ▲ 2枚目画像の座標系上のBobs(2, ib, jb) △ 1枚目画像の座標系上のBobs(2, ib, jb)

【図15】

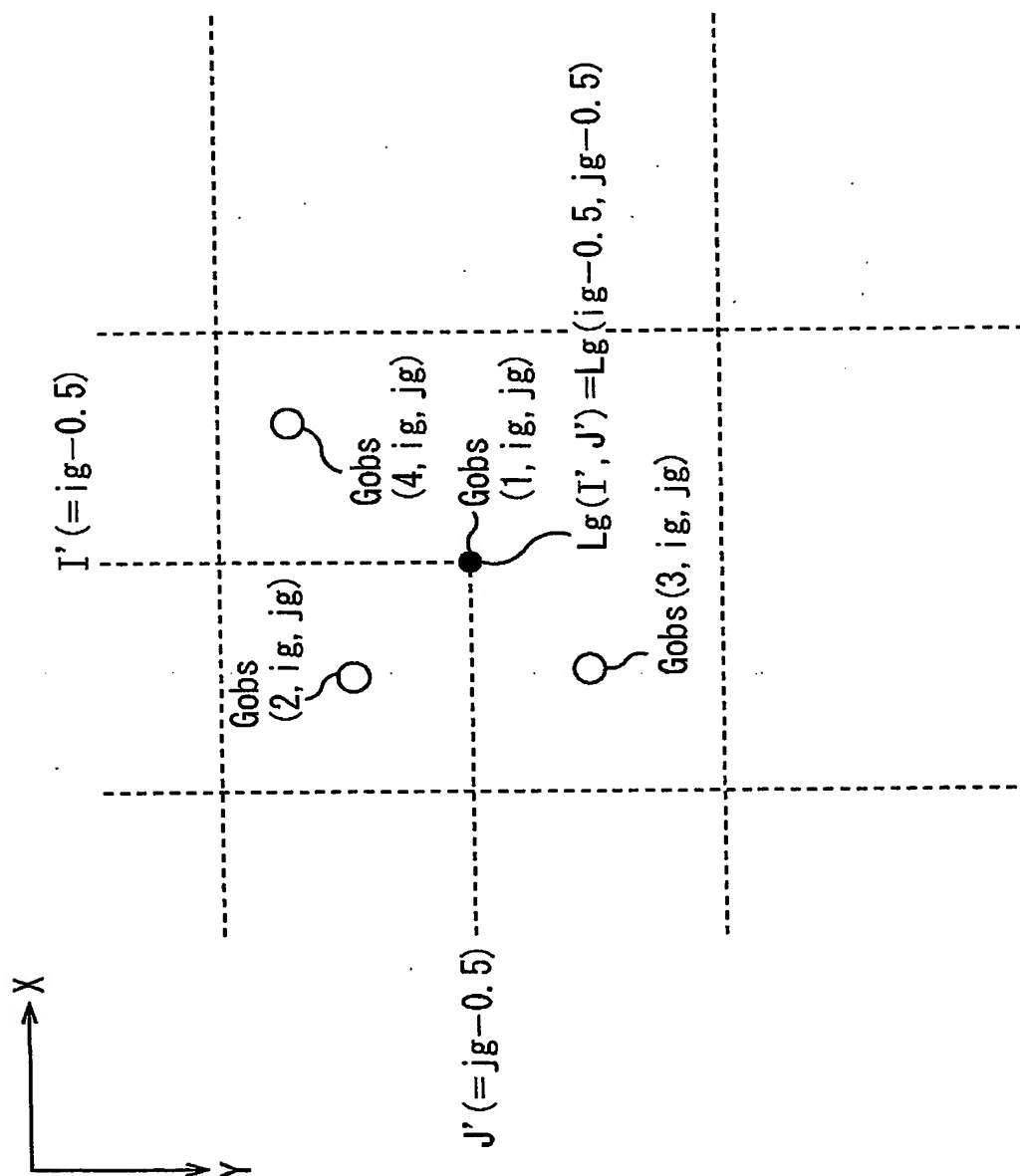
図15



- 3枚目画像の座標系上のGobs(3, ig, jg) ○ 1枚目画像の座標系上のGobs(3, ig, jg)
- 3枚目画像の座標系上のRobs(3, ir, jr) □ 1枚目画像の座標系上のRobs(3, ir, jr)
- ▲ 3枚目画像の座標系上のBobs(3, ib, jb) △ 1枚目画像の座標系上のBobs(3, ib, jb)

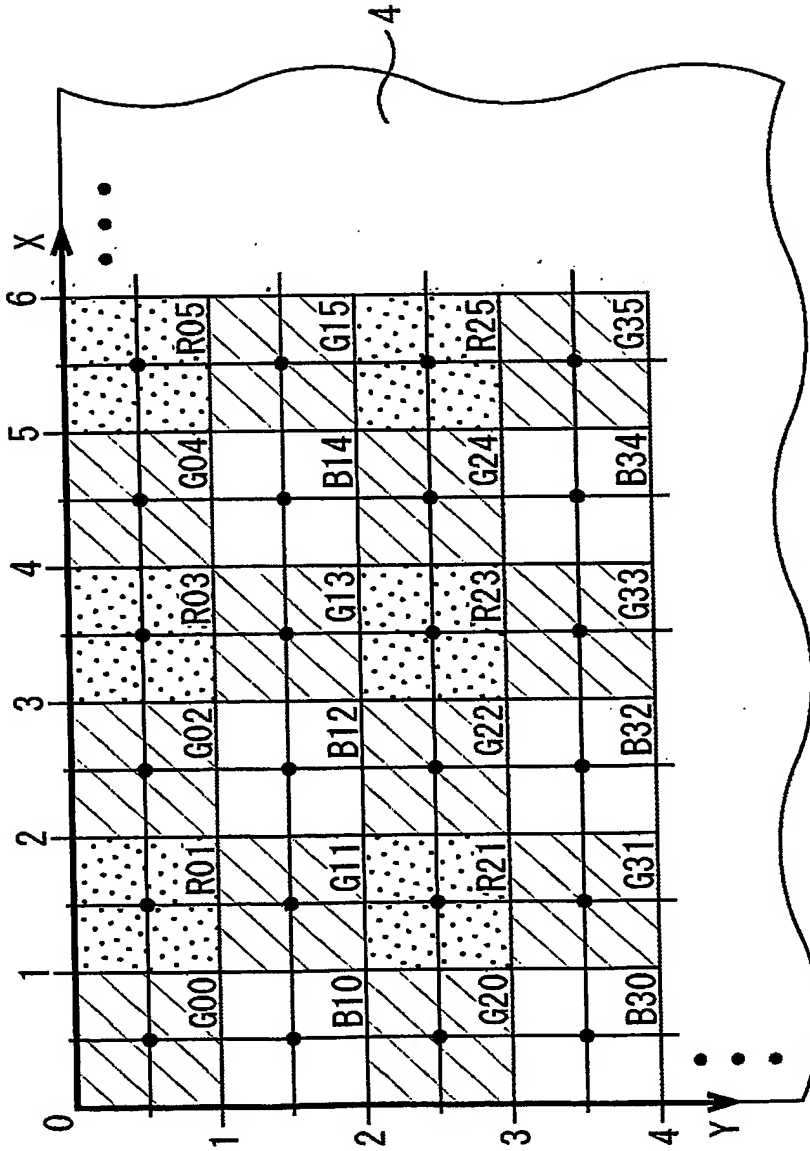
【図 16】

図16



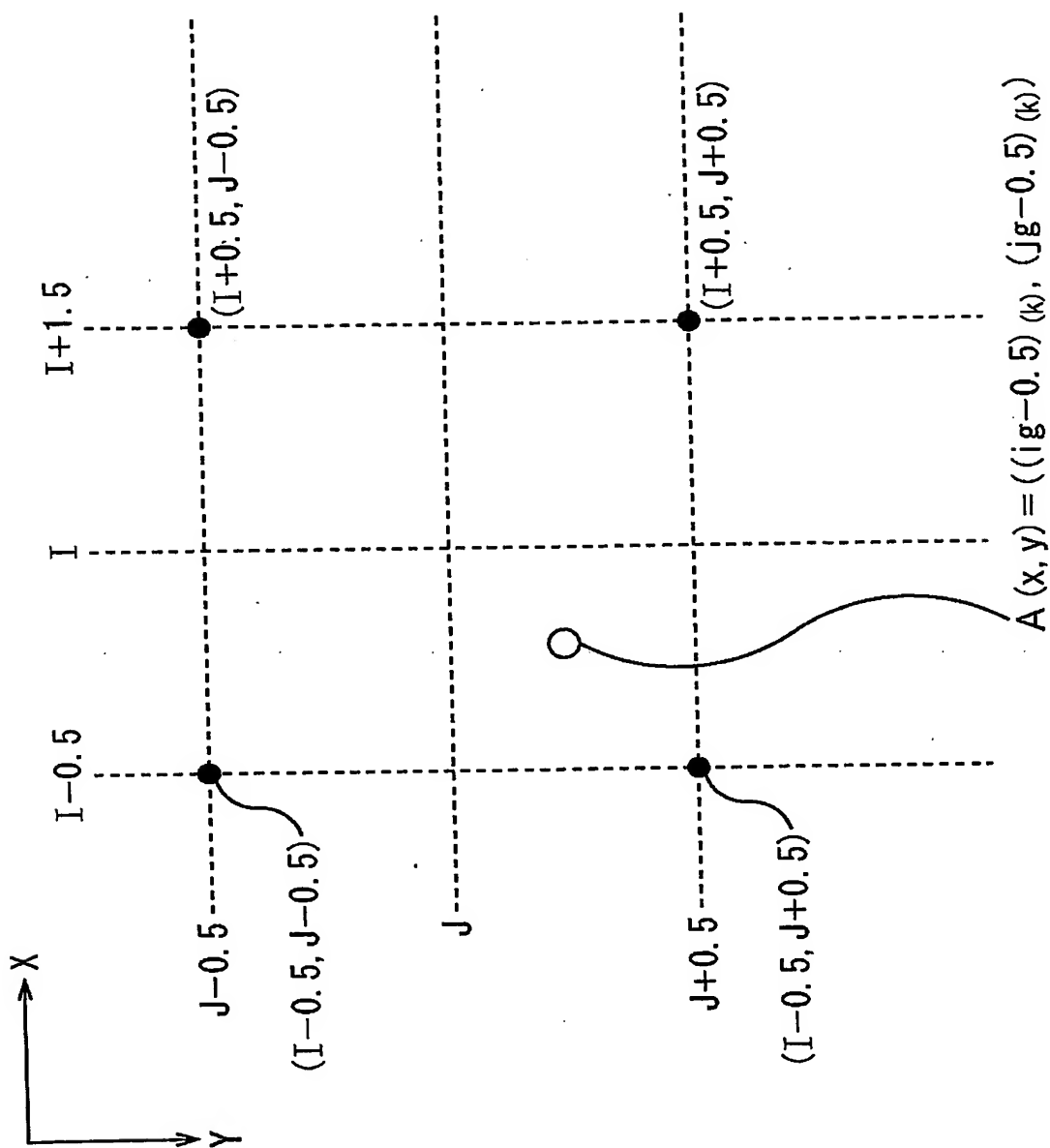
【図 17】

図17



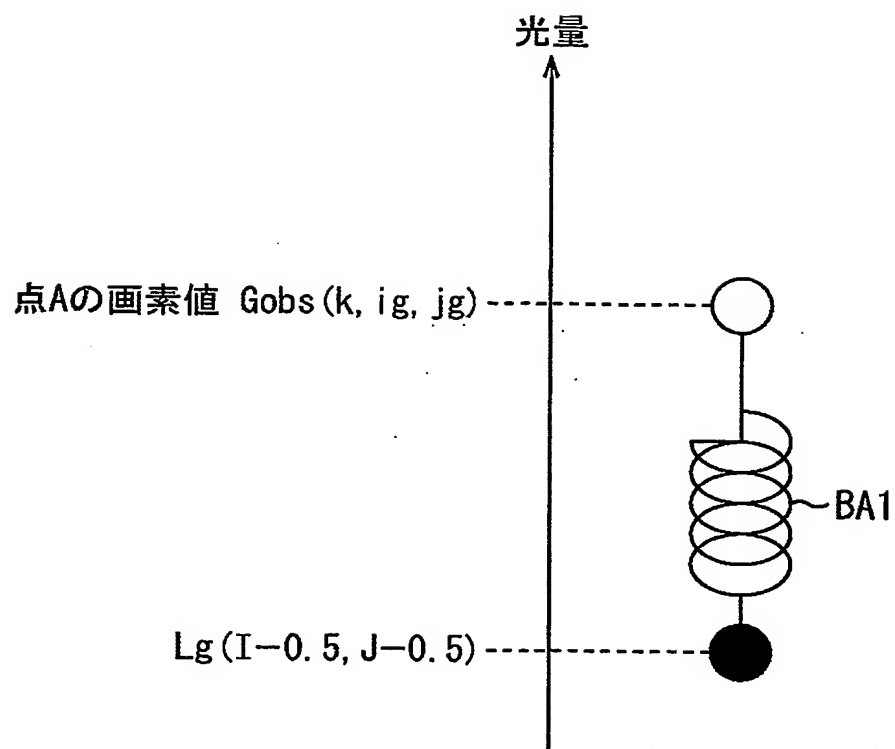
【図18】

図18



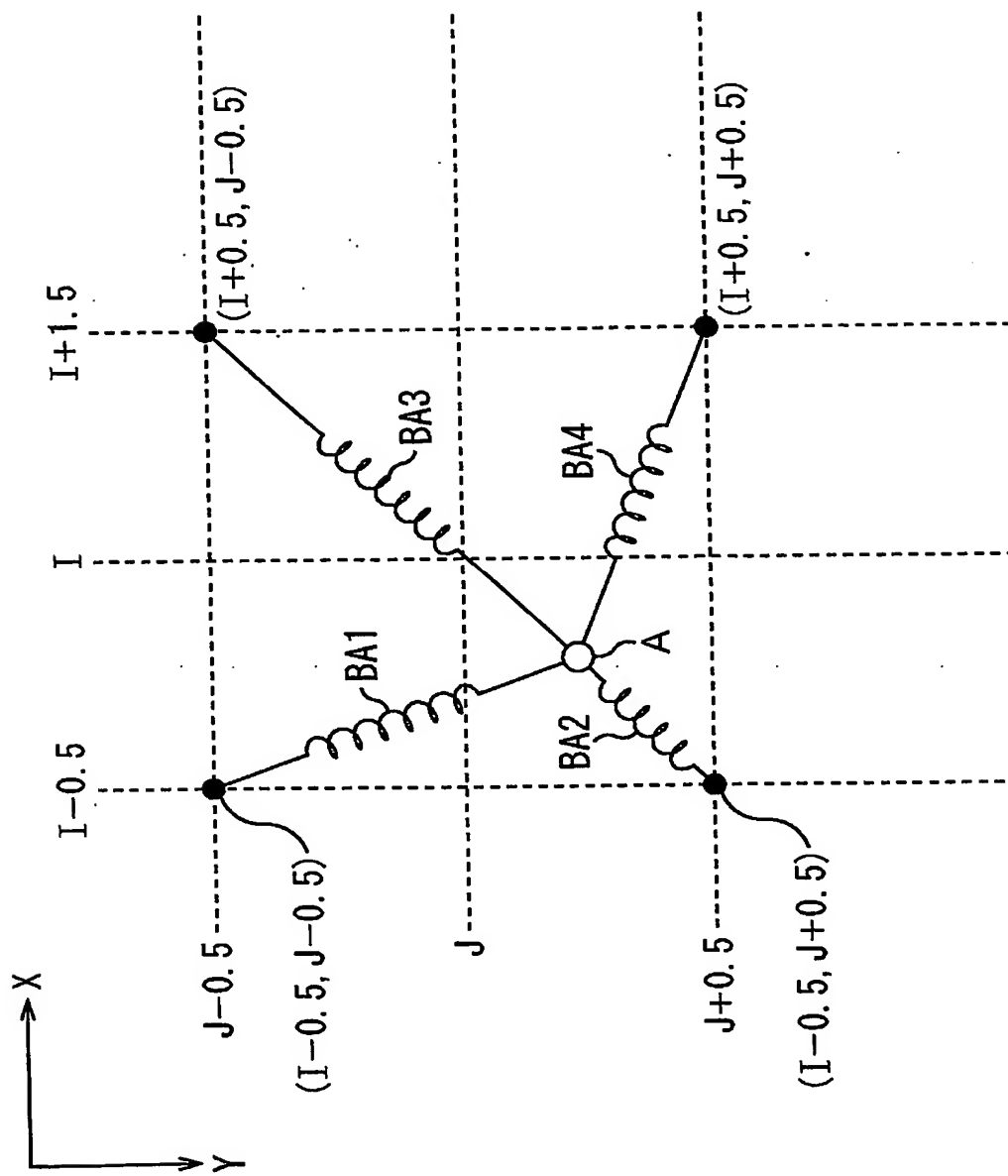
【図 19】

図19



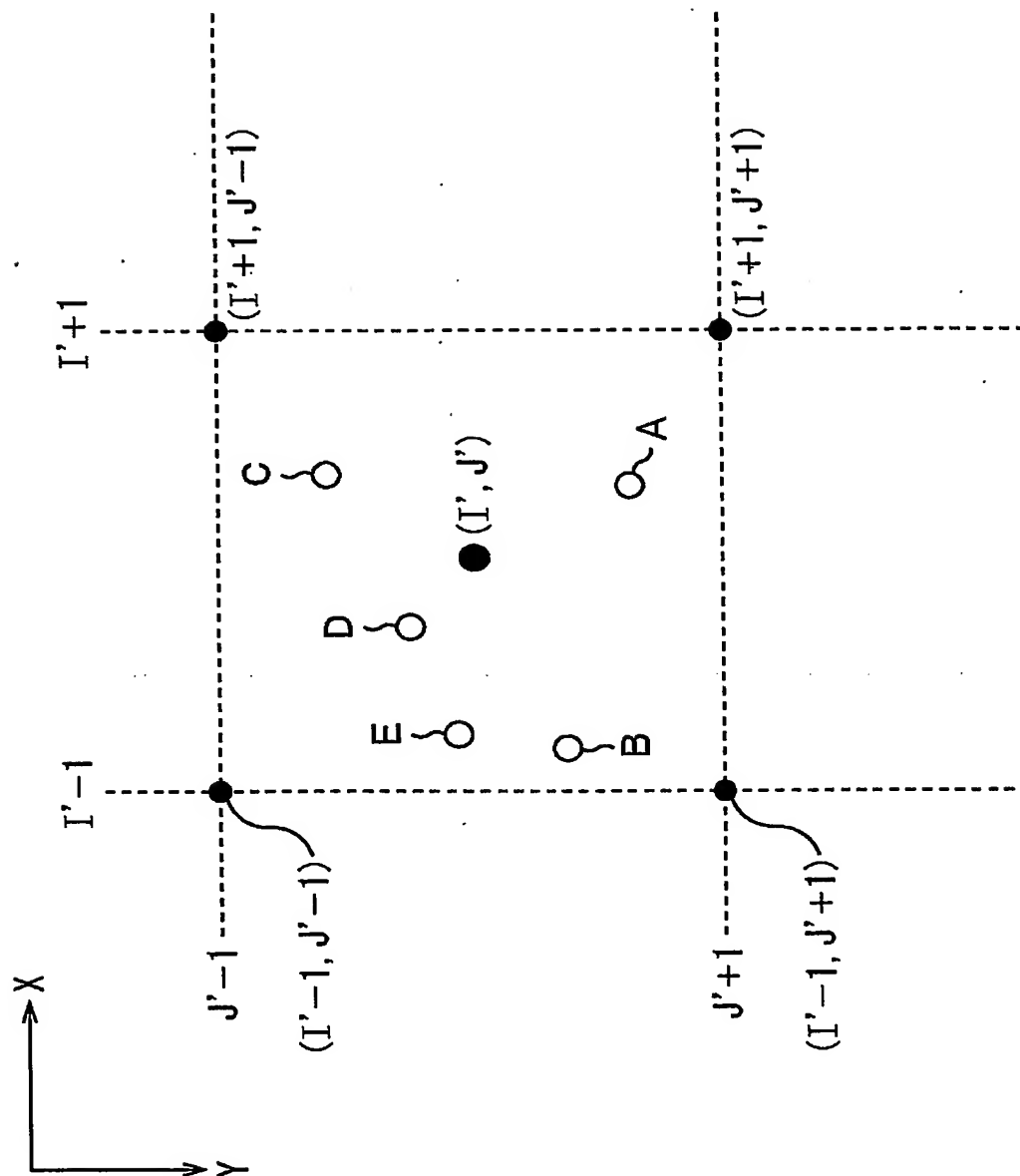
【図 20】

図20



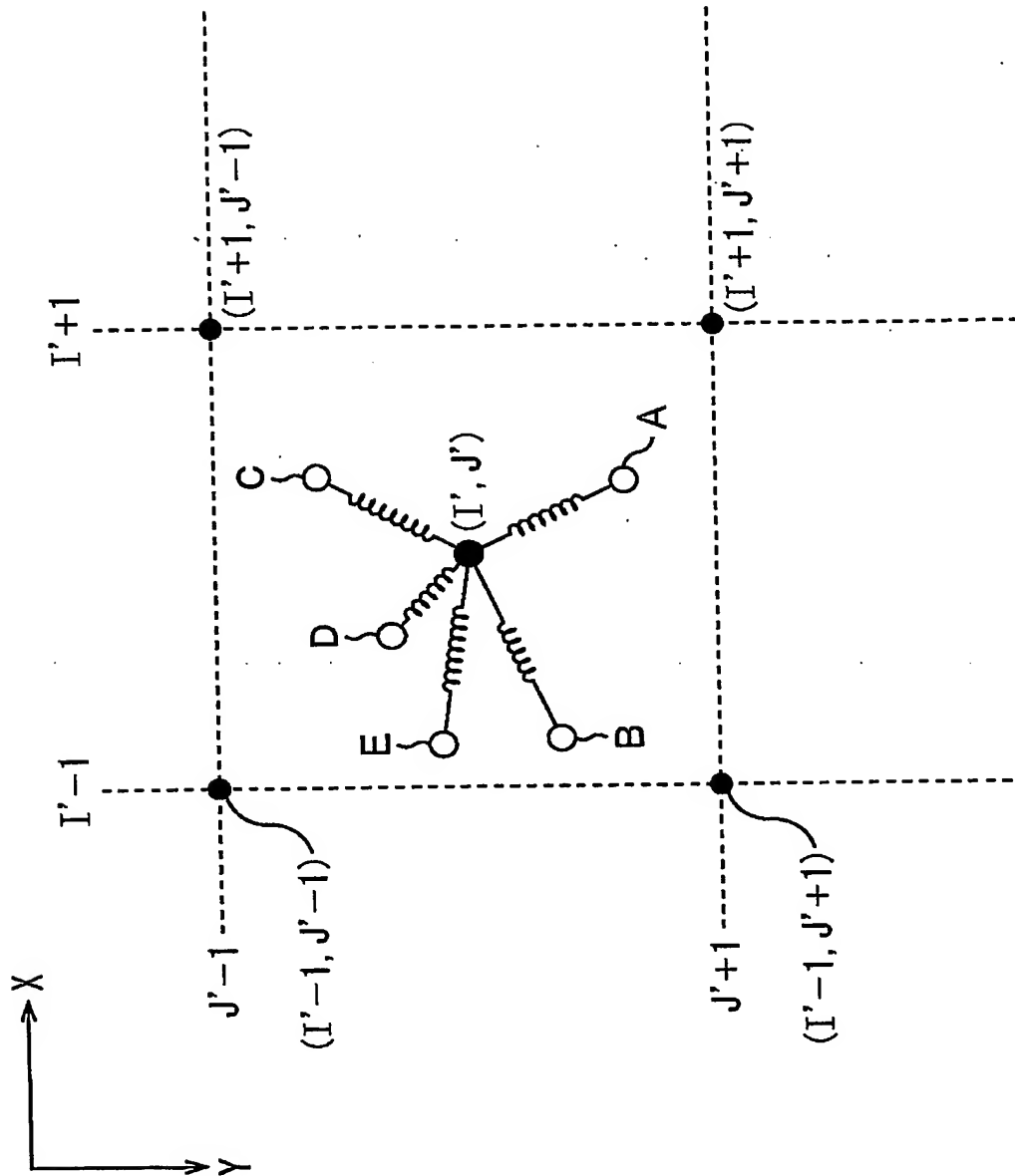
【図 2 1】

図21



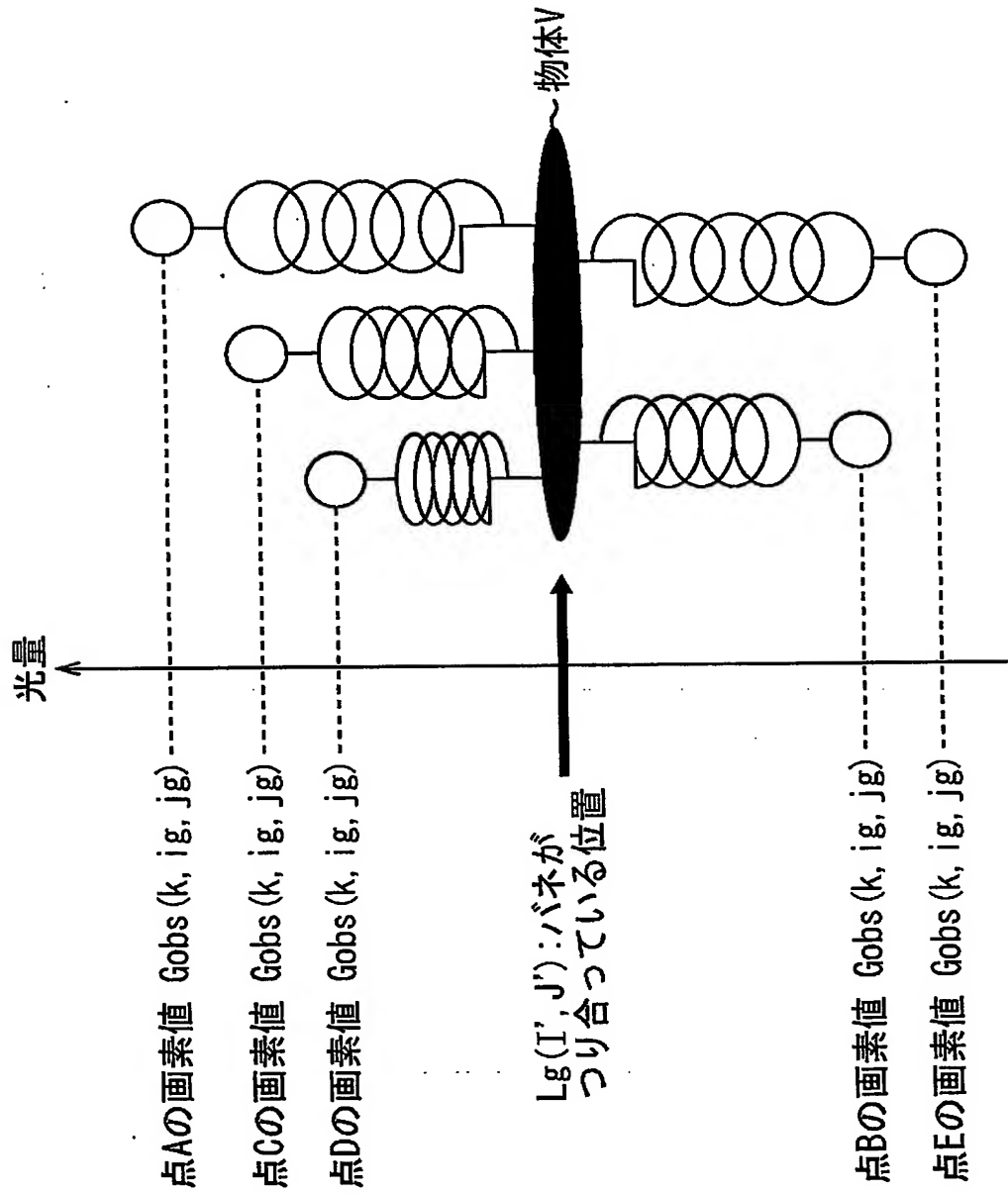
【図 22】

図22



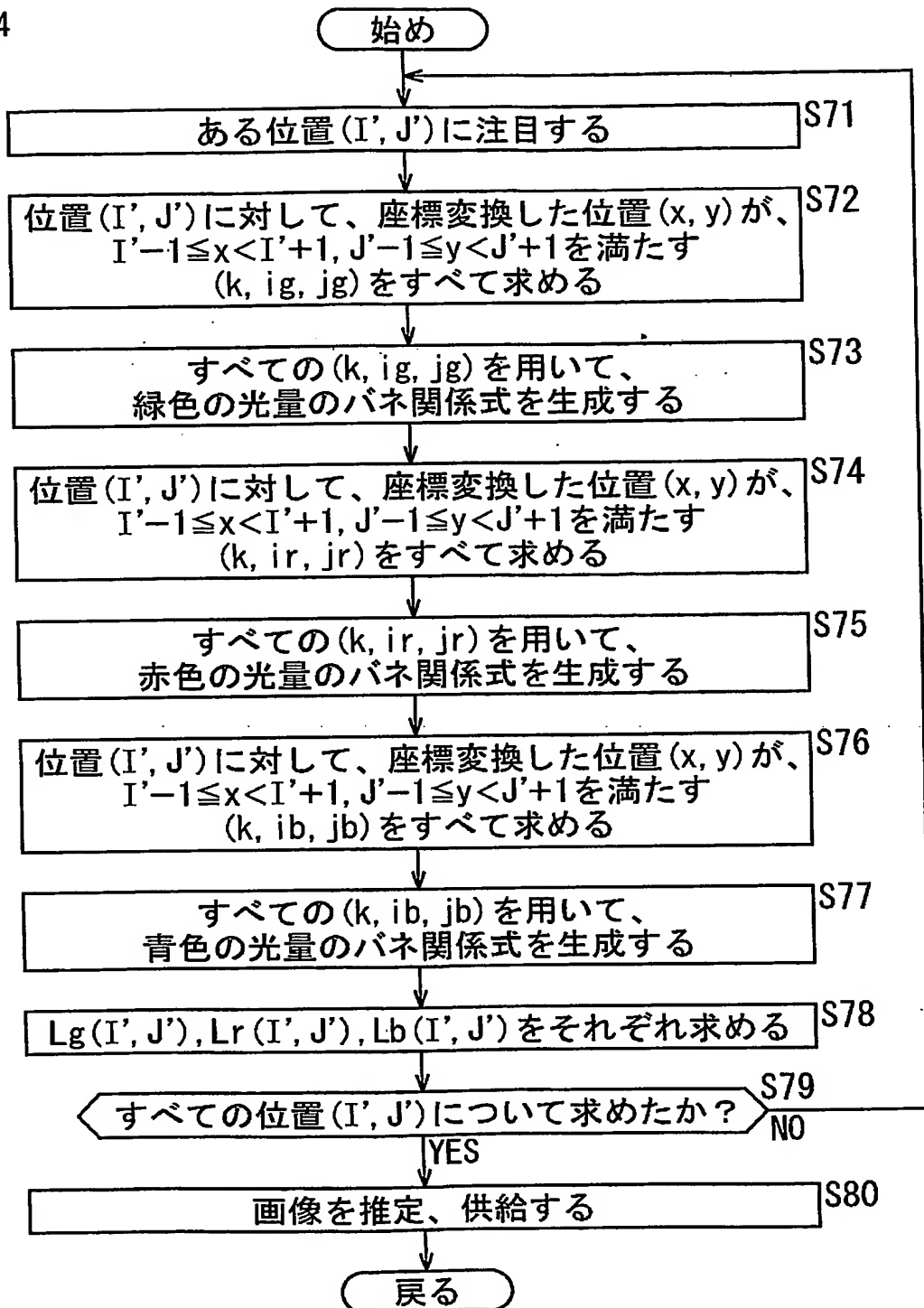
【図 23】

図23



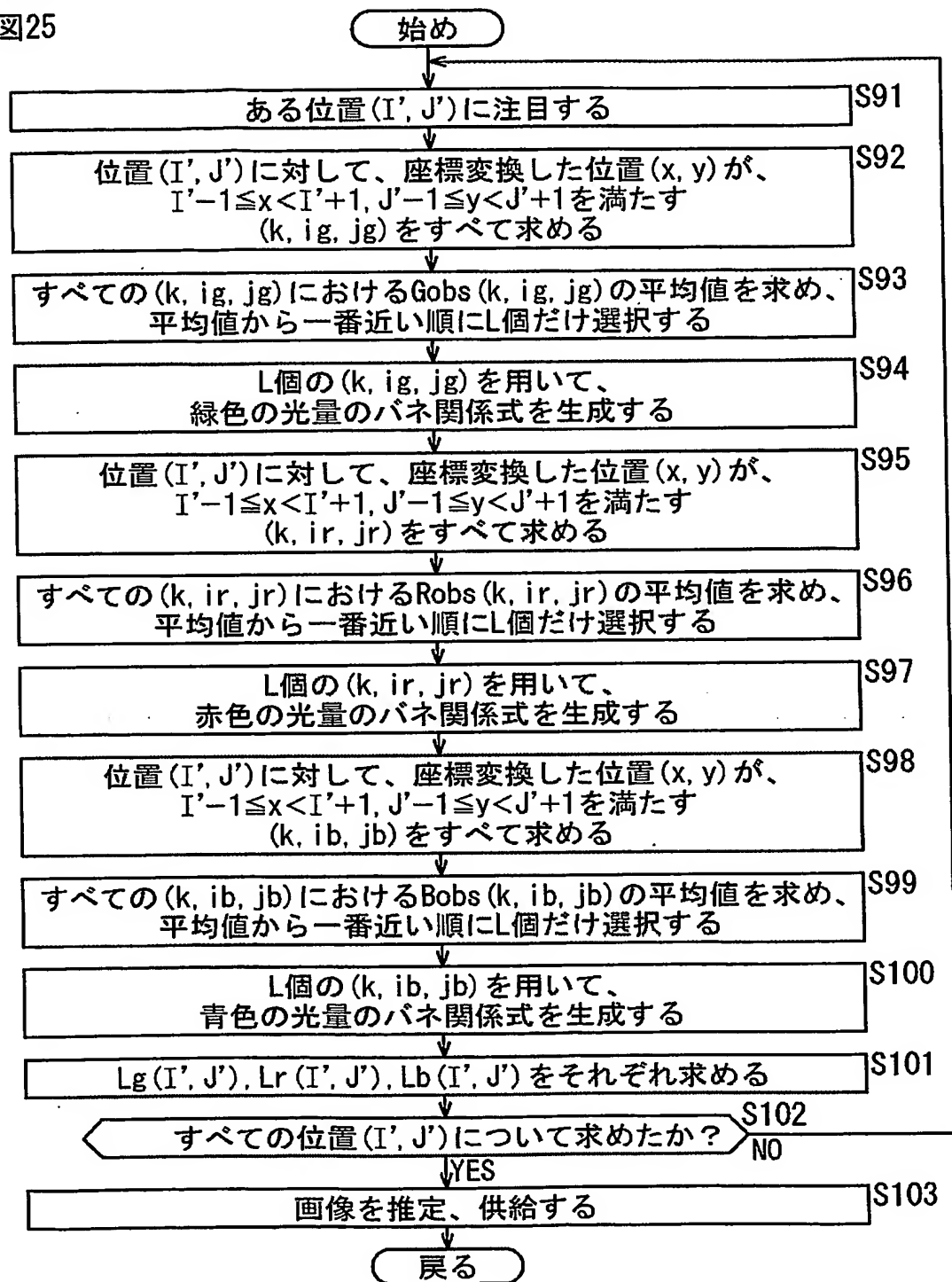
【図 24】

図24



【図25】

図25



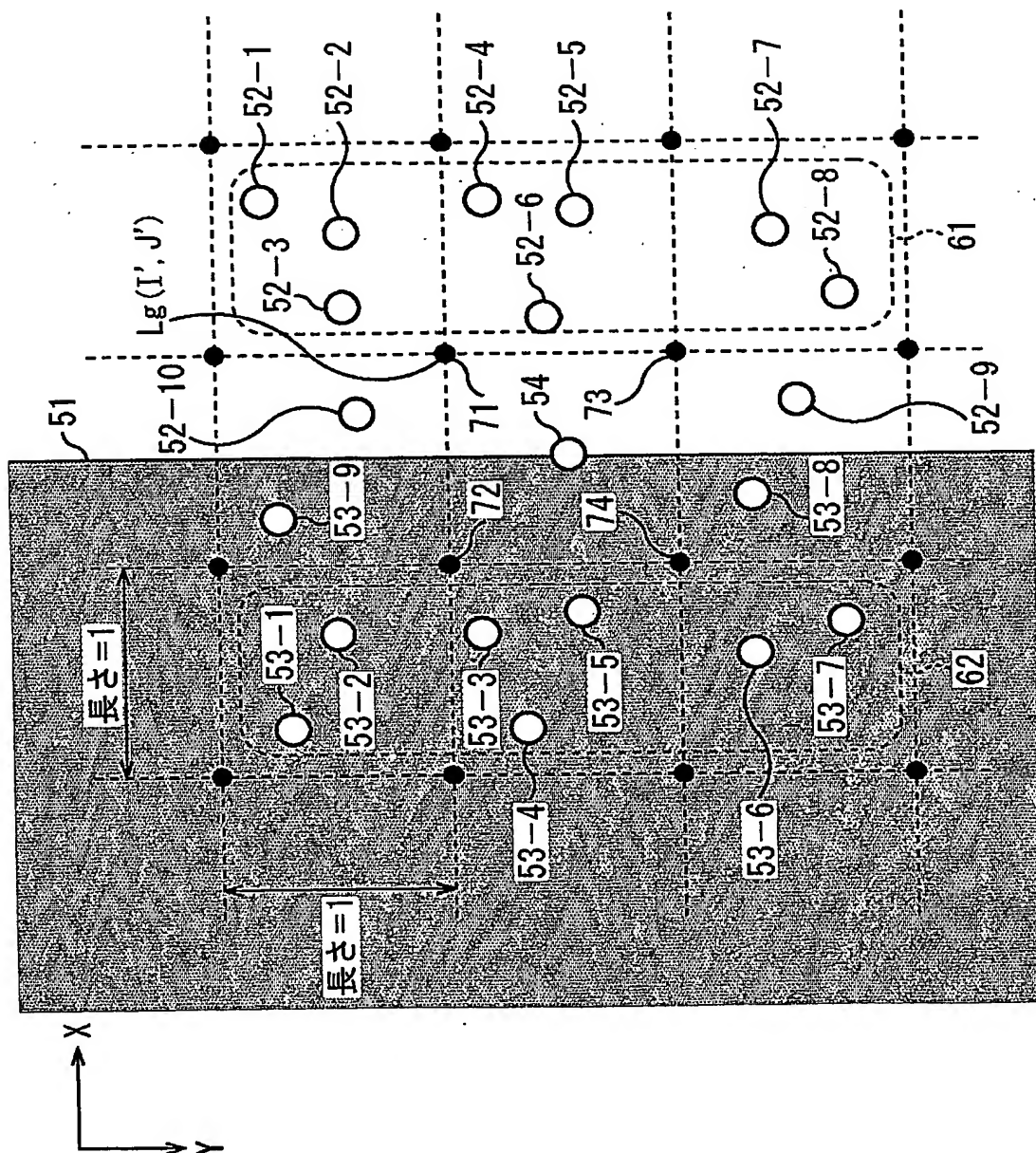
【図 26】

図26



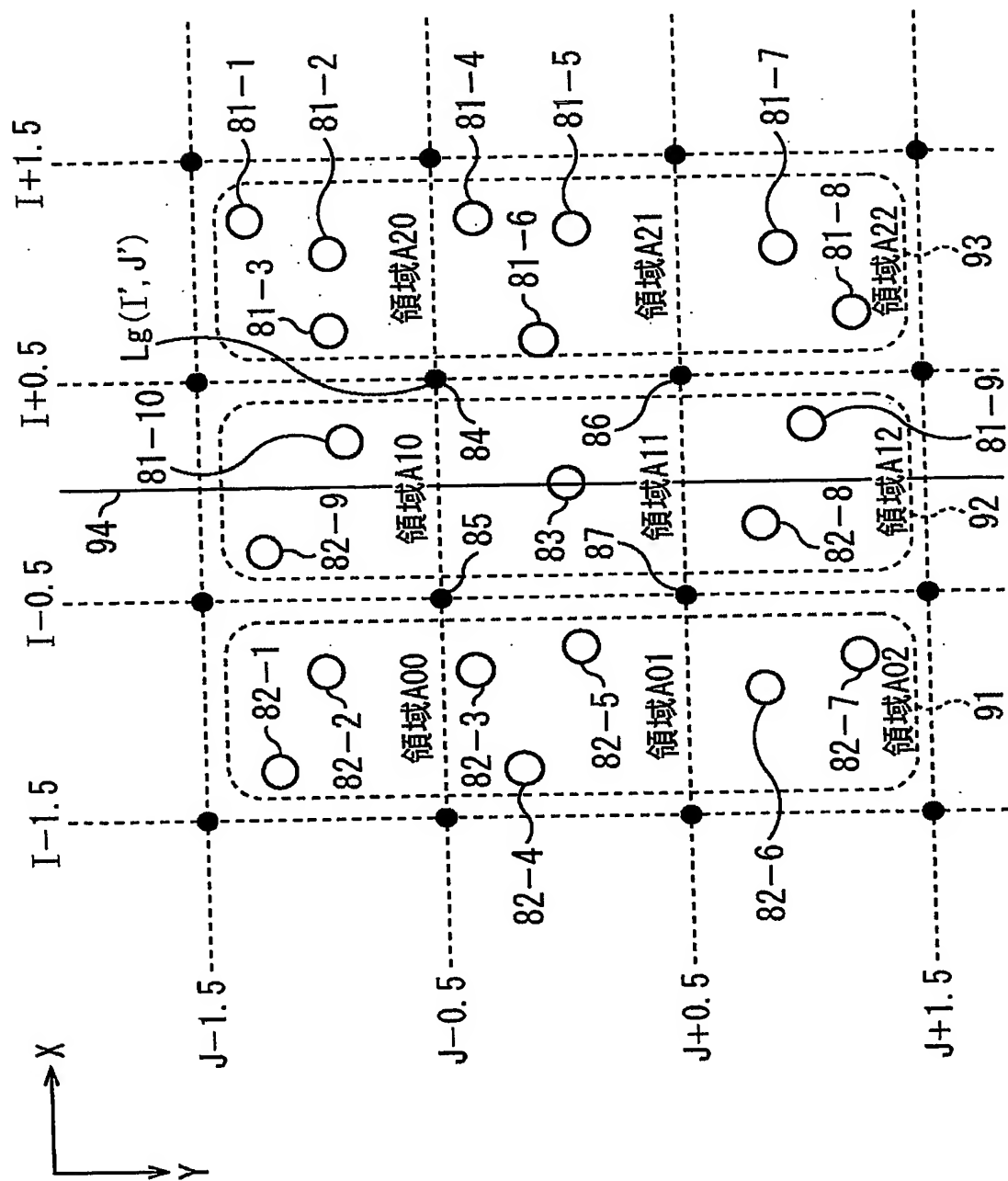
【図 27】

図27



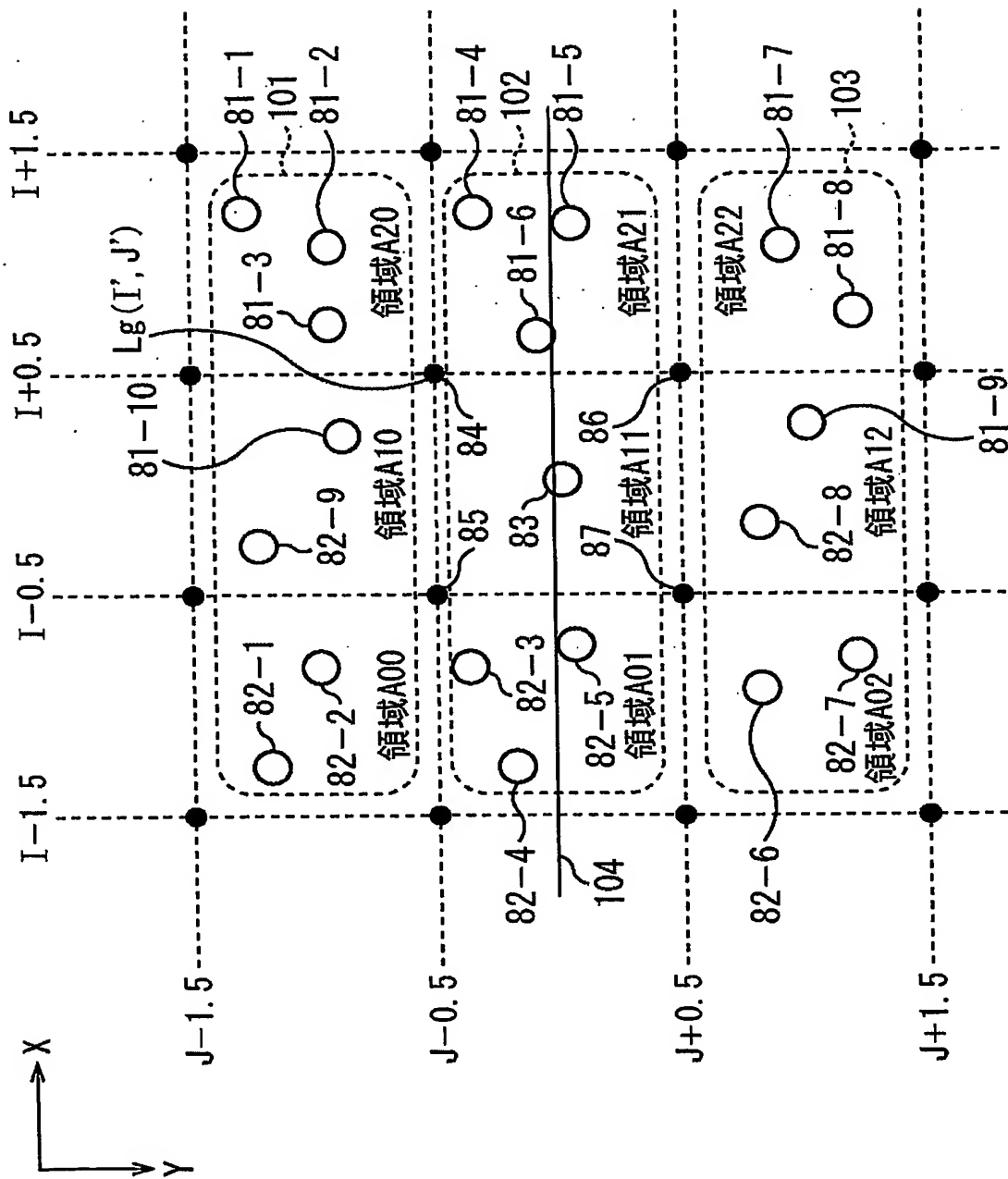
【図28】

図28



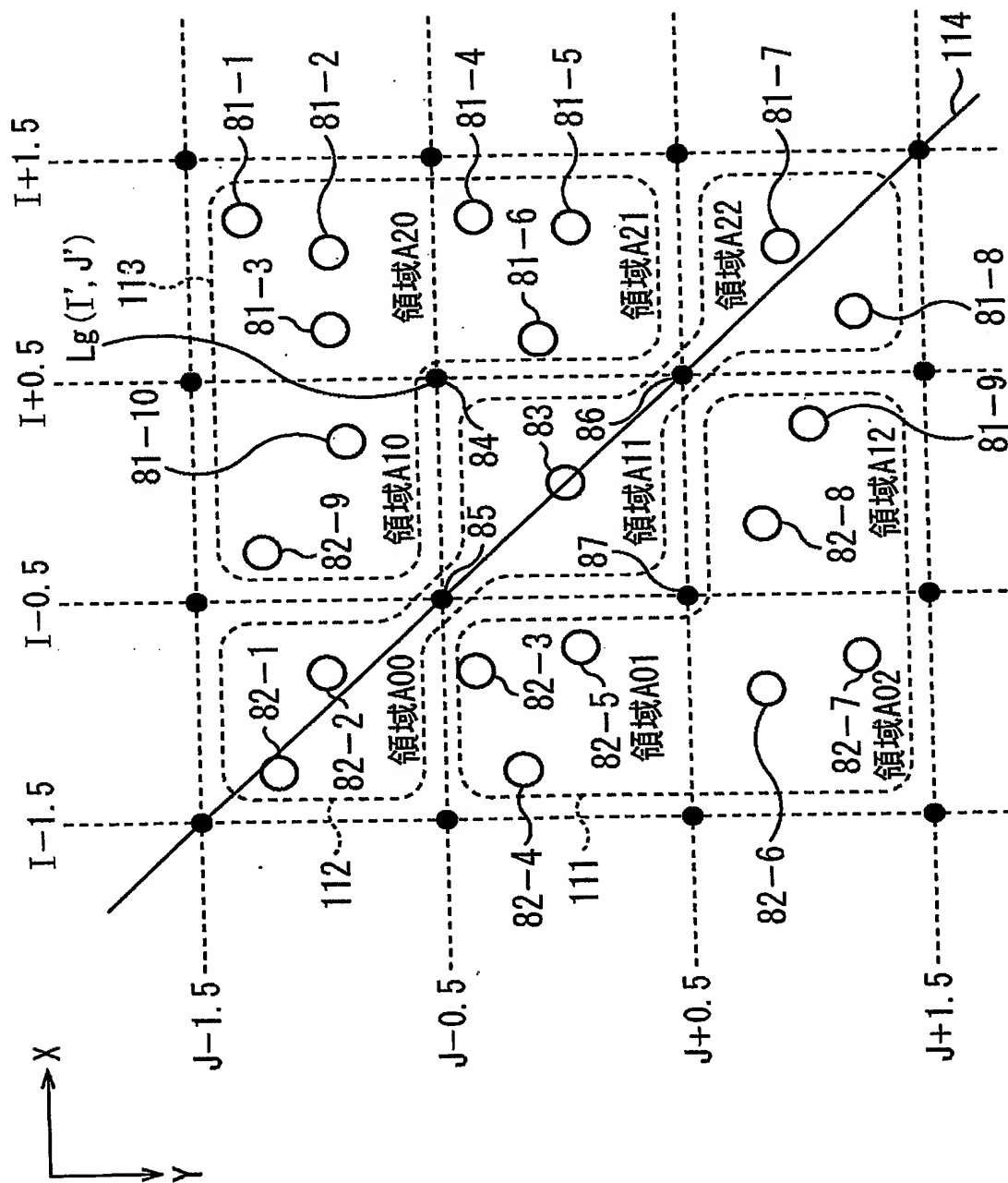
【図 29】

図29



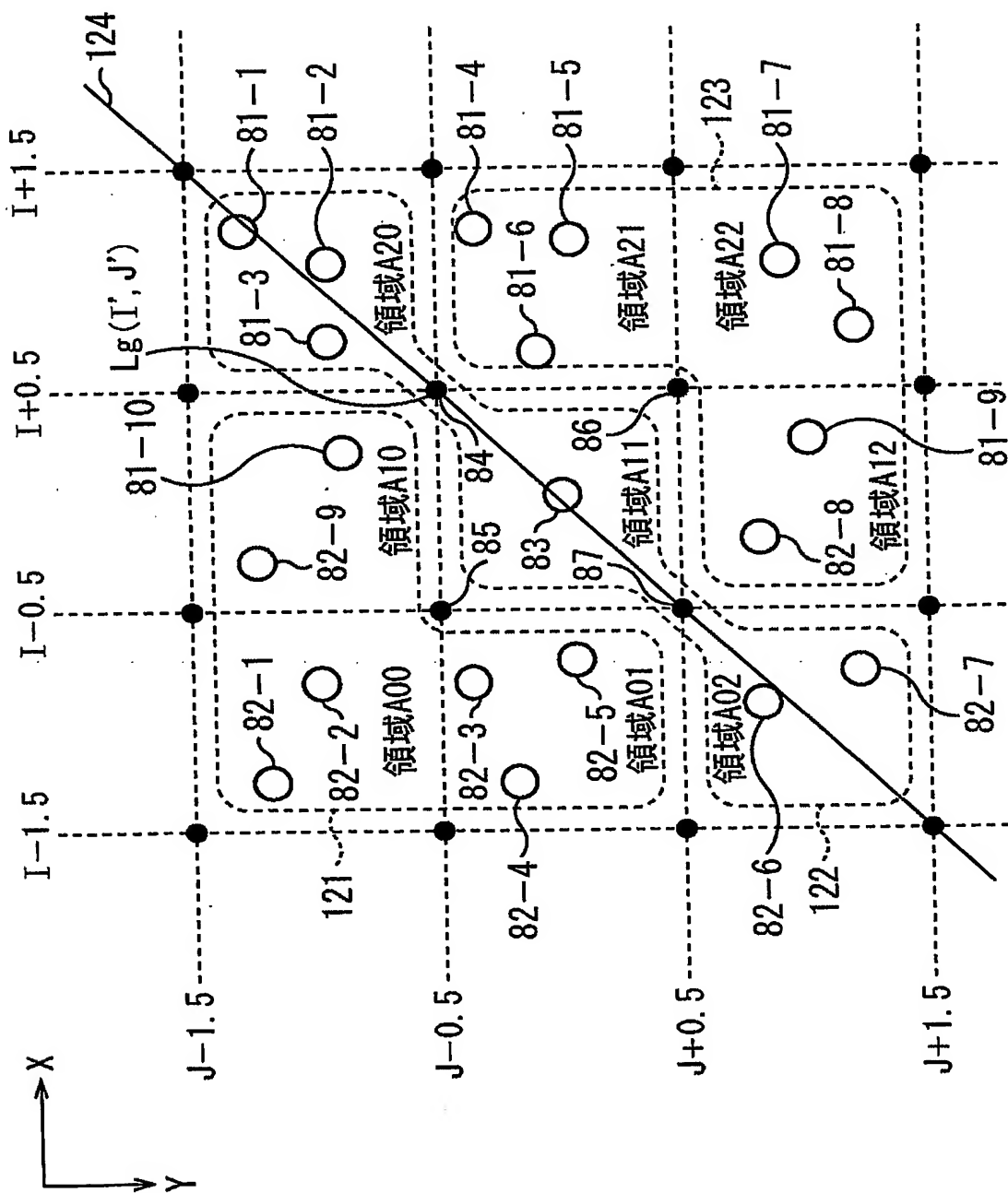
【図30】

図30



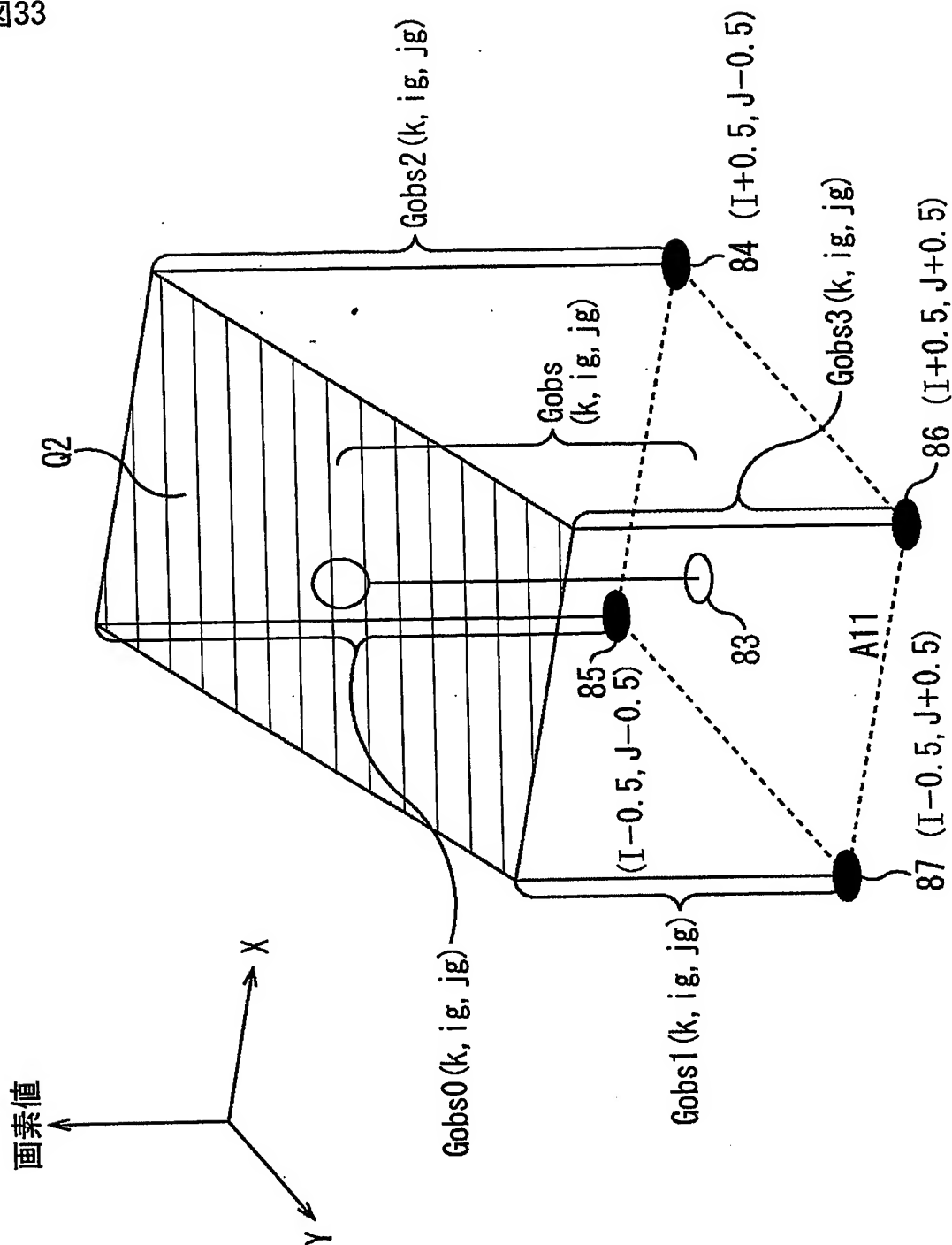
【図 31】

図31



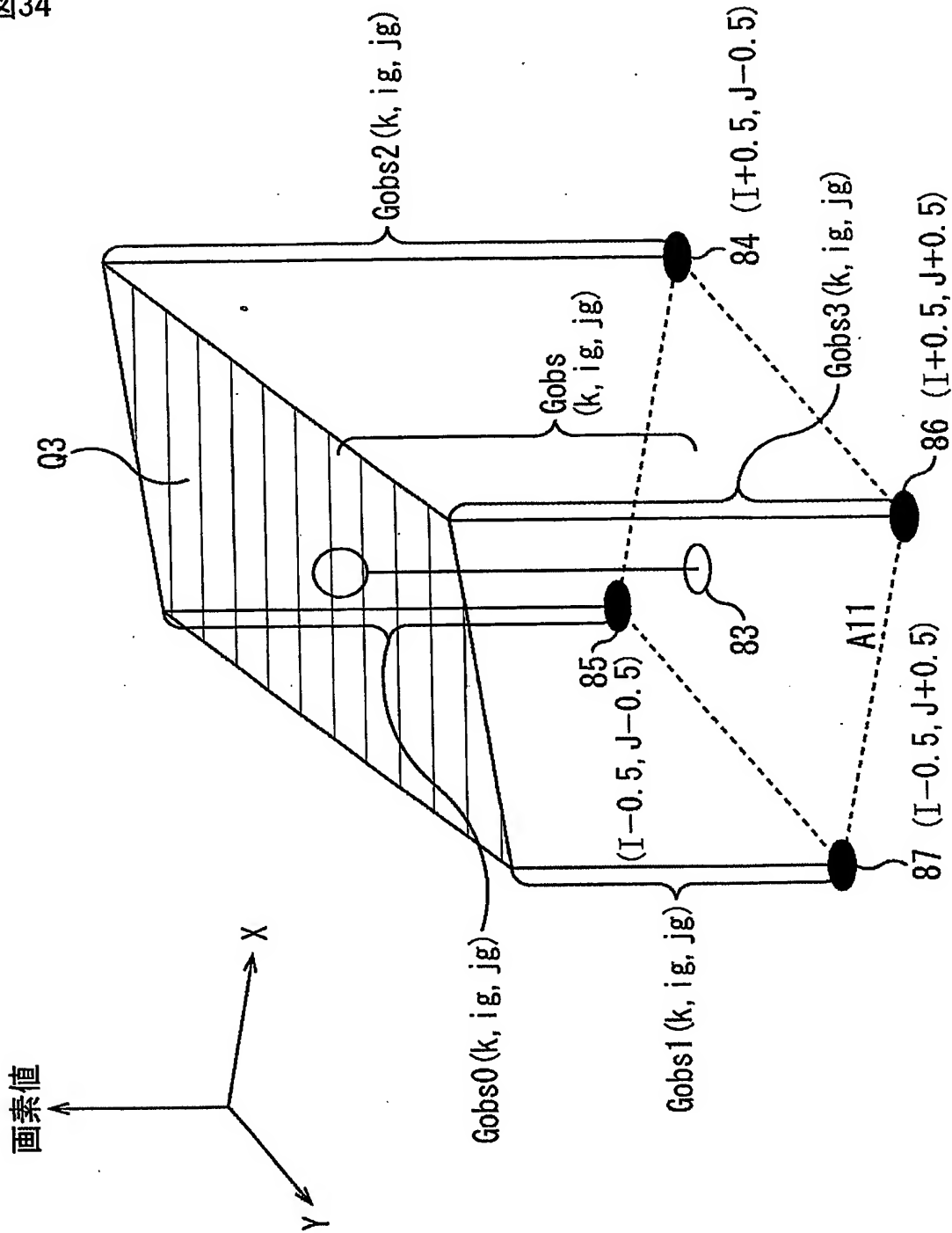
【図33】

図33



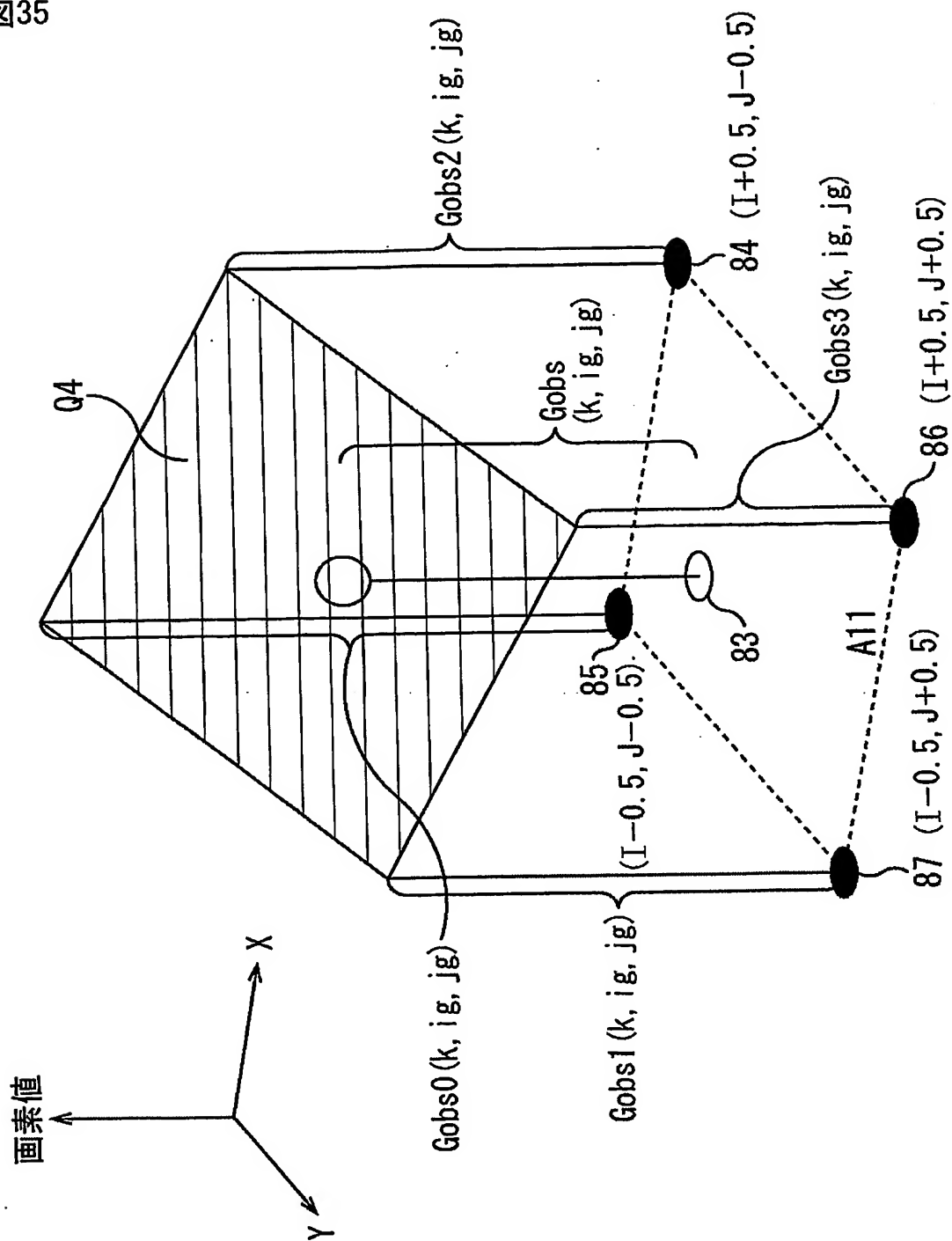
【図34】

図34



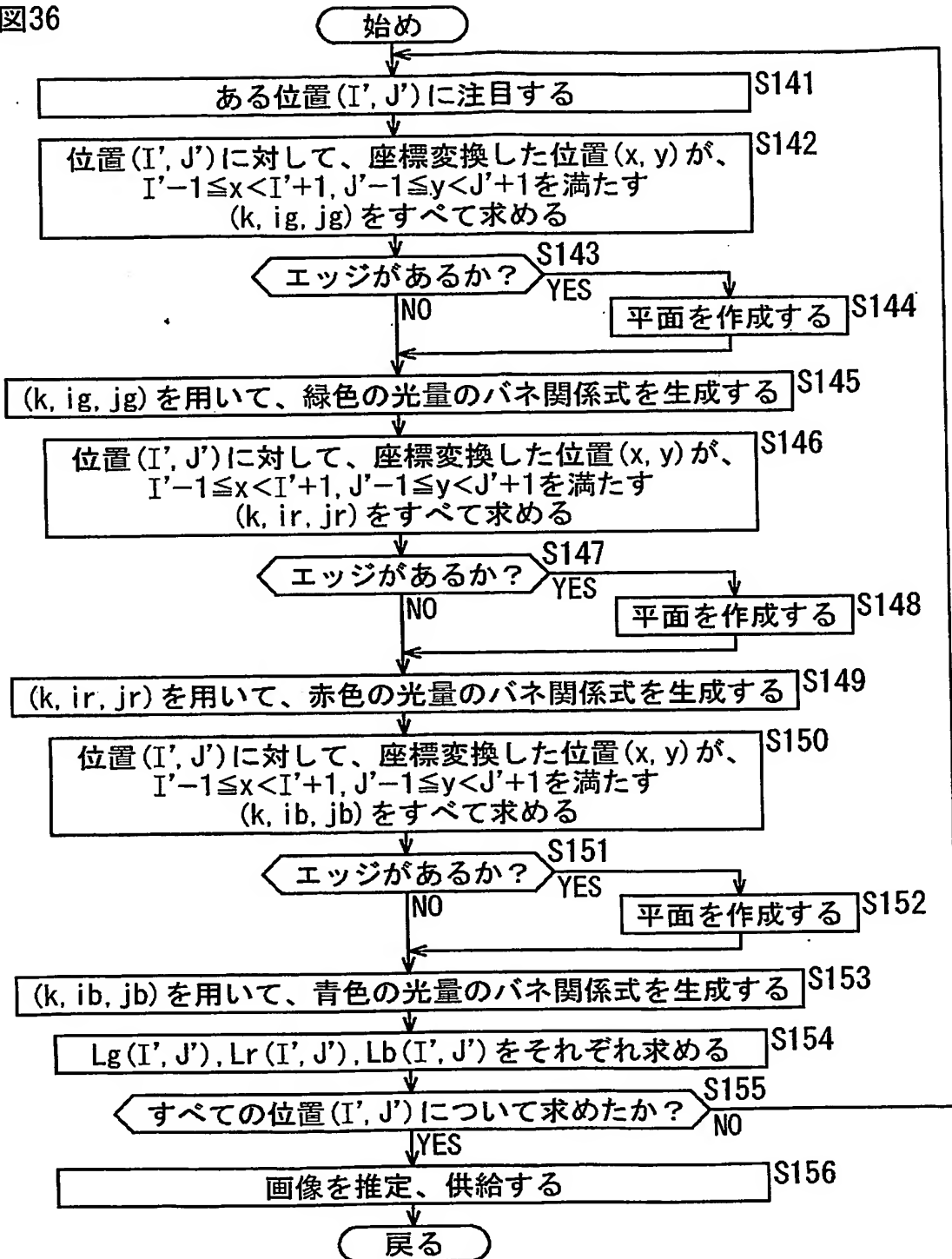
【圖 3 5】

图35



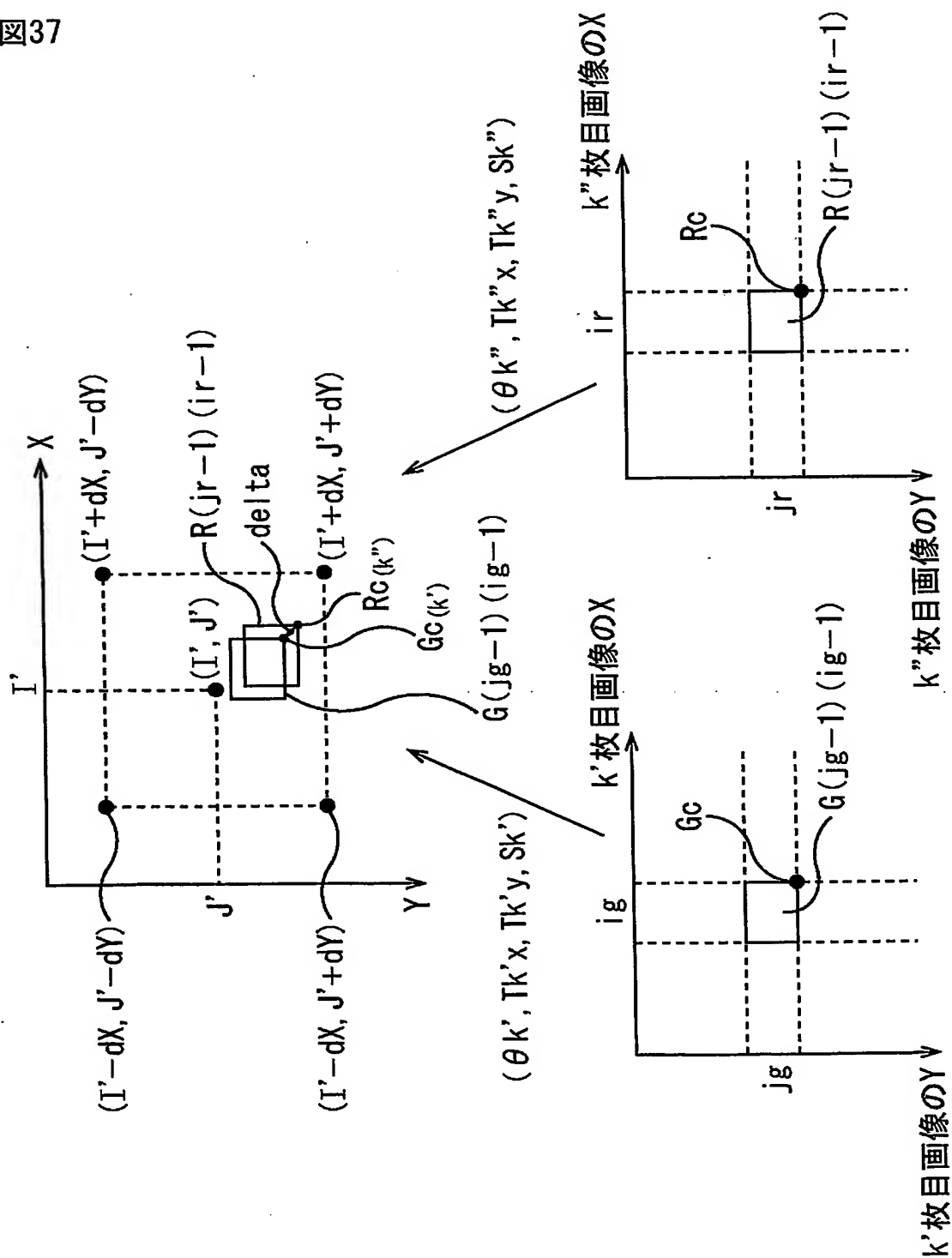
【図36】

図36



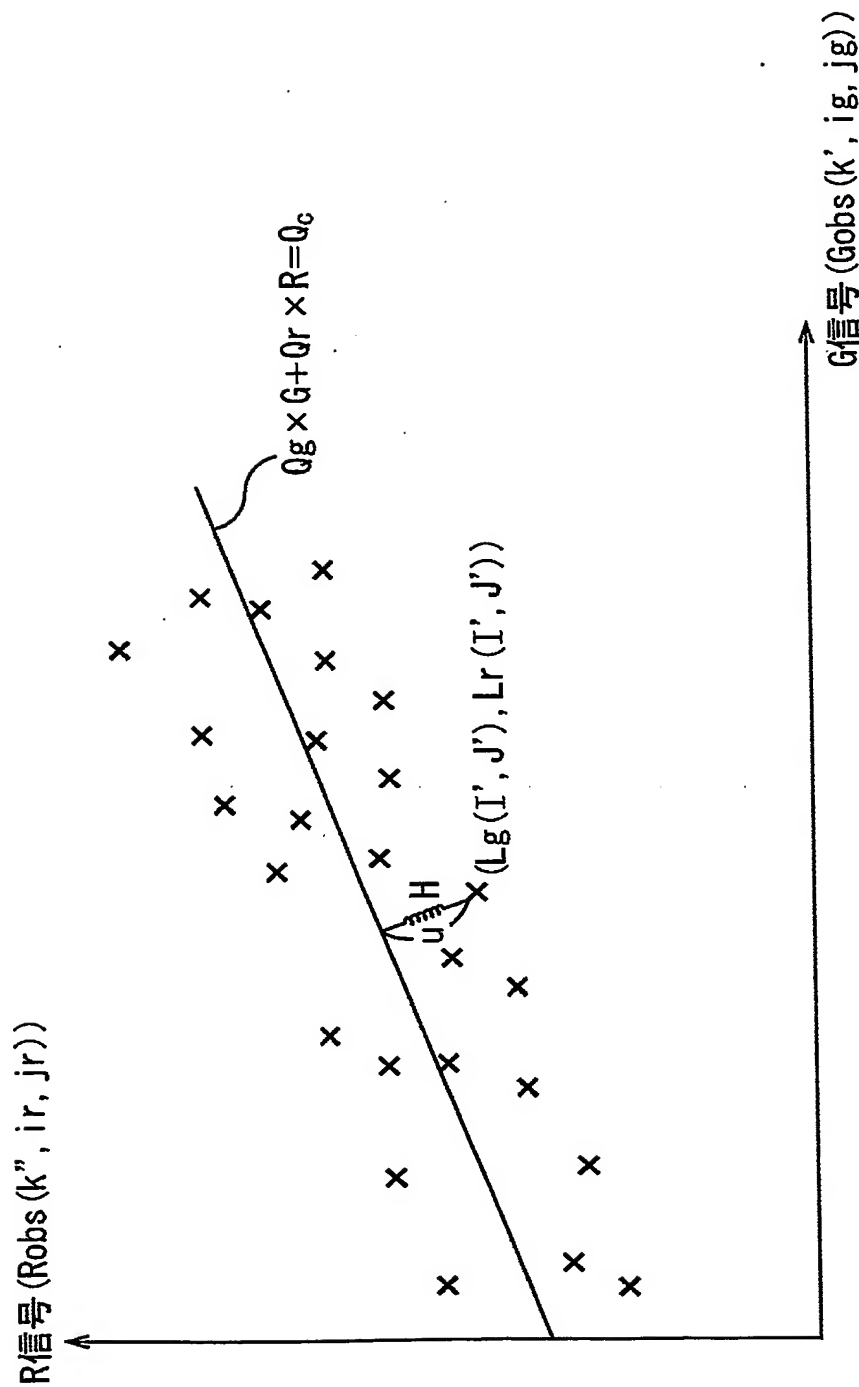
【図 3 7】

圖37



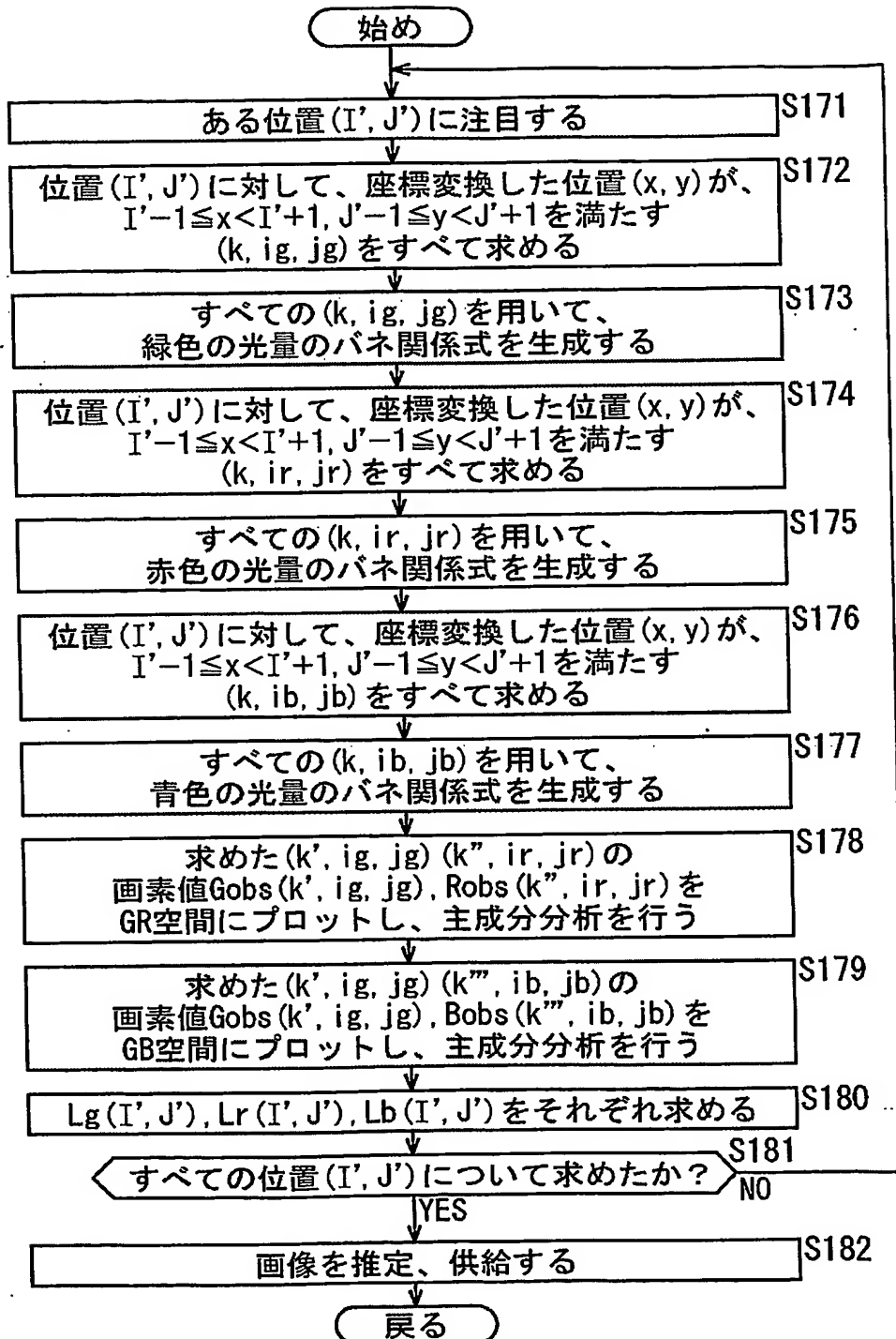
【図 38】

図38



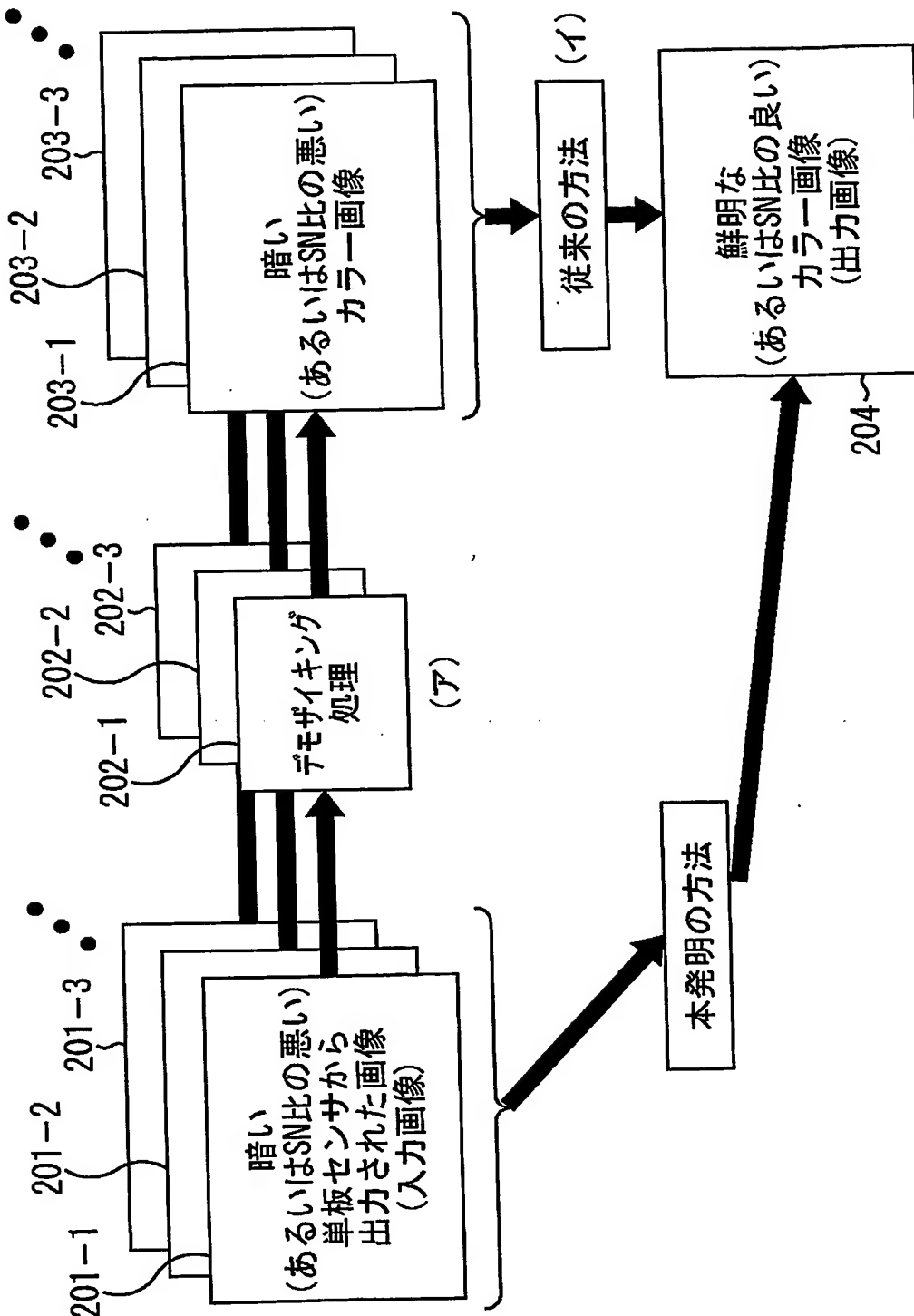
【図39】

図39



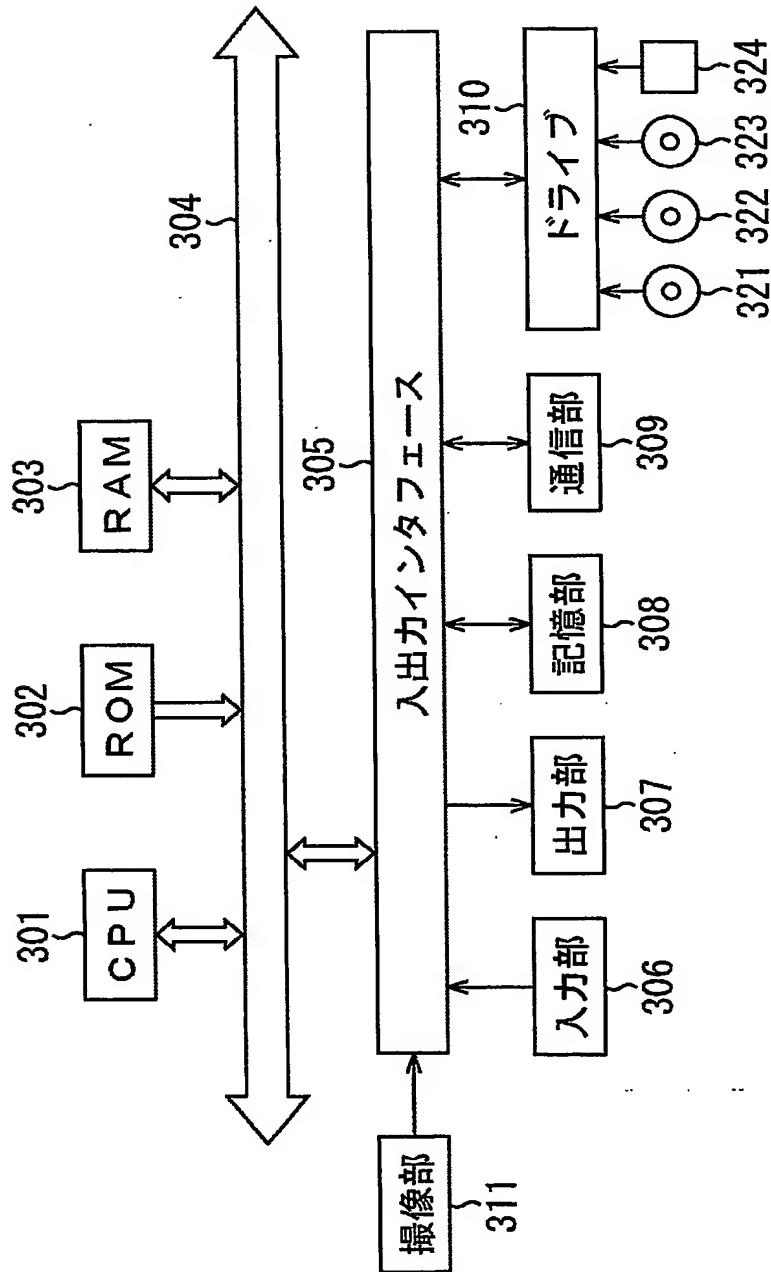
【図40】

図40



【図 41】

図41



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 より鮮明な画像を得ることができるようにする。

【解決手段】 デジタルカメラ 1 において、1 画素につき 1 個の色信号を供給する単板センサで構成される撮像素子 4 により高速撮像された複数枚の画像は、信号処理回路 7 のフレームメモリ 2 2 に記憶される。信号処理回路 7 は、フレームメモリ 2 2 に記憶された複数枚の画像どうしの位置関係を検出し、検出された位置関係に基づき、1 画素につき 3 個の色信号を有する画像を推定する。本発明は、デジタルカメラに適用できる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 1 7 8 4 0 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 2 1 8 5]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号

氏 名

ソニー株式会社